

**DESHIDRATACIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND EN  
MAMPOSTERÍA DE LADRILLOS DE ARCILLA Y SU RELACIÓN  
CON PROPIEDADES DE LOS MUROS.**

**DANIEL FERNANDO ACEVEDO SALDARRIAGA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**VICTOR MANUEL ARISTIZÁBAL GIL**

**Director Ejecutivo de LUNSA**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA**

**ENVIGADO**

**2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

En gratitud inmensa, en primer lugar a Dios fuente infinita de todo conocimiento y auxilio constante; después a mis padres cuyo aliento y apoyo ha sido insustituible en todo momento.

Al Ingeniero Víctor Aristizábal, cuya experiencia, disposición, apoyo, orientación y consejo ha constituido parte fundamental de este proyecto.

A mi abuelo, quien en todo momento me brindó su acompañamiento, consejo y aliento.

A mis primos Nora Saldarriaga y especialmente Carlos Alberto Saldarriaga cuyo apoyo económico y consejos fueron primordiales para sacar adelante mi carrera.

A mis familiares, compañeros y amigos por su confianza y constante estímulo que me han dado ánimos en los momentos de vacilación.

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. PRELIMINARES.....	18
1.1 Planteamiento del problema .....	18
1.2 Objetivos del proyecto .....	22
1.2.1 Objetivo General.....	22
1.2.2 Objetivos Específicos .....	22
1.3 Marco de referencia.....	23
1.3.1 Justificación.....	23
1.3.2 Antecedentes .....	23
1.3.3 Marco Teórico .....	27
2. METODOLOGÍA.....	45
2.1 Selección y caracterización de ladrillos y mortero.....	45
2.1.1 Caracterización de los ladrillos .....	46
2.1.2 Caracterización del mortero.....	48
2.2 Planeación y desarrollo de los ensayos .....	51
2.3 Ensayos de laboratorio en los muretes.....	57
3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO .....	58
3.1 Caracterización de los ladrillos y del mortero.....	58
3.1.1 Caracterización de los ladrillos .....	58
3.1.2 Caracterización del mortero.....	67
3.2 Ladrillera A .....	69
3.2.1 Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera A .....	69

3.2.2	Absorción de la Ladrillera A .....	69
3.2.3	Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera A .....	70
3.2.4	Resistencia a compresión de los muretes de la ladrillera A .....	70
3.2.5	Resistencia a flexión de los muretes de la ladrillera A .....	73
3.2.6	Permeabilidad de los muretes de la ladrillera A .....	75
3.3	Ladrillera B .....	78
3.3.1	Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera B .....	78
3.3.2	Absorción de la Ladrillera B .....	78
3.3.3	Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera B .....	79
3.3.4	Resistencia a compresión de los muretes de la ladrillera B .....	79
3.3.5	Resistencia a flexión de los muretes de la ladrillera B .....	83
	Figura 59 Flexión muretes verticales ladrillera B.....	85
3.3.6	Permeabilidad de los muretes de la ladrillera B .....	86
3.4	Ladrillera C .....	88
3.4.1	Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera C .....	88
3.4.2	Absorción de la Ladrillera C .....	89
3.4.3	Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera C .....	89
3.4.4	Resistencia a compresión de los muretes de la ladrillera C .....	90
3.4.5	Resistencia a flexión de los muretes de la ladrillera C .....	94
3.4.6	Permeabilidad de los muretes de la ladrillera C .....	97
3.5	Ladrillera D .....	100
3.5.1	Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera D .....	100
3.5.2	Absorción de la Ladrillera D .....	100
3.5.3	Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera D .....	101

3.5.4	Resistencia a compresión de los muretes de la Ladrillera D .....	101
3.5.5	Resistencia a flexión de los muretes de la Ladrillera D .....	105
3.5.6	Permeabilidad de los muretes de la ladrillera D .....	108
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	113
5.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	116
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	117

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tasa inicial de Absorción (TIA) .....	31
Tabla 2 Dosificaciones del mortero .....	34
Tabla 3 Clasificación de los morteros de pega (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE).....	35
Tabla 4 Factor de corrección por esbeltez .....	37
Tabla 5 Ensayos de caracterización de los ladrillos .....	47
Tabla 6 Ensayos de caracterización de los ladrillos .....	47
Tabla 7 Ensayos y condiciones para los muretes .....	54
Tabla 8 Relación de fechas en las que se construyeron los muretes .....	55
Tabla 9 TIA de los Ladrillos Horizontales .....	58
Tabla 10 TIA de los Ladrillos Verticales .....	61
Tabla 11 Resistencia a compresión de los ladrillos horizontales.....	65
Tabla 12 Resistencia a compresión de los ladrillos verticales .....	65
Tabla 13 Cilindros de mortero con aditivo .....	67
Tabla 14 Cilindros de mortero sin aditivo .....	67
Tabla 15 Absorción Ladrillera A.....	69
Tabla 16 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera A .....	70
Tabla 17 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera A (Rojos).....	70
Tabla 18 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera A (Blancos) .....	72
Tabla 19 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera A (Blancos) .....	73
Tabla 20 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera A (Rojos).....	74
Tabla 21 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera A.....	75
Tabla 22 Absorción Ladrillera B .....	78

Tabla 23 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera B .....	79
Tabla 24 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera B.....	79
Tabla 25 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera B.....	81
Tabla 26 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera B.....	83
Tabla 27 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera B.....	85
Tabla 28 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera B.....	86
Tabla 29 Absorción Ladrillera C.....	89
Tabla 30 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera C .....	89
Tabla 31 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera C.....	90
Tabla 32 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera C.....	92
Tabla 33 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera C.....	94
Tabla 34 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera C.....	96
Tabla 34 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera C.....	97
Tabla 35 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera C .....	97
Tabla 36 Absorción Ladrillera D.....	100
Tabla 37 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera D .....	101
Tabla 38 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera D.....	102
Tabla 39 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera D.....	103
Tabla 40 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera D.....	105
Tabla 41 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera D.....	106
Tabla 42 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera D .....	108
Tabla 43 Comparación de resistencias .....	114

pág.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Uso general del ladrillo en Medellín (Aristizábal Gil) .....	18
Figura 2 Medellín ciudad roja comunas Nororientales (Aristizábal Gil).....	19
Figura 3 Barrio el Poblado construcción moderna en ladrillo (Aristizábal Gil).....	19
Figura 4 Uso de ladrillo en edificios en altura (Aristizábal Gil).....	19
Figura 5 Catedral Metropolitana Medellín, Obra emblemática e histórica en ladrillo .....	20
Figura 6 Medellín por dentro: barrios del Occidente en ladrillo (Aristizábal Gil).....	20
Figura 7 Desarrollo de la construcción en ladrillo. Vista aérea del poblado 2010 (Aristizábal Gil).....	21
Figura 8 Diagrama explicativo del uso del tubo RILEM (Aristizábal Gil) .....	23
Figura 9 Pruebas con tubo RILEM en fachadas de ladrillo recién hidrofugadas.....	24
Figura 10 Ensayo de penetración de humedad para ladrillos de arcilla. Ladrillo No. 1 (HISPALYT-INCE, 1985) .....	25
Figura 11 Ensayo de penetración de humedad para ladrillos de arcilla. Ladrillo No. 2 (HISPALYT-INCE, 1985) .....	26
Figura 12 Clases de ladrillos según el tipo de perforación (Aristizábal Gil) .....	30
Figura 13. Relación entre resistencia a compresión y relación A/C para el Método Inglés de diseño de mezclas (1988) (Videla, 2010) .....	36
Figura 14. Relación entre resistencia a la tracción indirecta y la relación A/C para el Método Inglés de diseño de mezclas (1975) (Videla, 2010).....	36
Figura 15. Morfología de los diferentes tipos de C-S-H de acuerdo con S. Diamond. (a).- Tipo I, partículas fibrosas, (b).- Tipo II, reticular (c).- Tipo III, (d).- Tipo IV, morfología interior del producto.....	39
Figura 16. Representación esquemática de los cambios que tienen lugar en el sistema $C_3S$ –agua. ....	40
Figura 17 Porcentaje de la resistencia a la compresión a los 28 días del hormigón correctamente curado (Mamlouk & Zaniewski, 2009) .....	41
Figura 18 Deshidratación del mortero en el muro (Aristizábal Gil) .....	42



Figura 19 Permeabilidad de muros de mampostería a través de juntas de pega permeables (Aristizábal Gil) .....	42
Figura 20 Ambos muretes están contruidos con ladrillos de fachada y estucados por el revés, que son las caras que se observan en la imagen. El murete de la izquierda se pegó sin prehumedecer los ladrillos y sin retenedor de agua, de lo que resultó una alta permeabilidad. El de la derecha, se contruyó con un retenedor de agua polimérico incorporado al 2% del peso del cemento, lo que previno la deshidratación del mortero y en consecuencia incrementó la impermeabilidad, que se midió mojando los muros con manguera por la cara exterior (la puesta) después de 28 días.....	43
Figura 21 Almacenamiento de los ladrillos.....	45
Figura 22 Selección de muestras.....	46
Figura 23 Preparación del mortero .....	49
Figura 24 Relación A/C alta para el contenido de humedad de los ladrillos .....	49
Figura 25 Cilindros de mortero.....	50
Figura 26 Desencofrado de los cilindros .....	50
Figura 27 Sitio de trabajo.....	51
Figura 28 Muretes en el sitio de su construcción .....	52
Figura 29 Construcción de muretes .....	52
Figura 30 Inmersión de los ladrillos .....	53
Figura 31 Transporte manual de muretes .....	53
Figura 32 Transporte de muretes al laboratorio .....	54
Figura 33 Máquina para fallar los prismas a compresión .....	56
Figura 34 Capa de nivelación los muretes .....	56
Figura 35 Máquina para fallar los prismas a flexión .....	56
Figura 36 Ensayo de permeabilidad (Tubo de Karsten) .....	57
Figura 37 Muretes fallados a compresión .....	57
Figura 38 Murete fallado a flexión .....	57

Figura 39 TIA en los ladrillos horizontales .....	64
Figura 40 TIA en los ladrillos verticales.....	64
Figura 41 Resistencia del mortero vs edad .....	68
Figura 42 T.I.A en los ladrillos de la Ladrillera A .....	69
Figura 43 Compresión muretes verticales ladrillera A-Rojos.....	71
Figura 44 Compresión muretes verticales ladrillera A-Rojos (Retenedor) .....	71
Figura 45 Compresión muretes verticales ladrillera A-Blancos .....	72
Figura 46 Compresión muretes verticales ladrillera A-Blancos (Retenedor).....	73
Figura 47 Flexión muretes verticales ladrillera A-Blancos .....	74
Figura 48 Flexión muretes verticales ladrillera A-Rojos.....	75
Figura 49 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera A (Blancos) .....	76
Figura 50 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera A (Blancos) .....	76
Figura 51 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera A (Rojos).....	77
Figura 52 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera A (Rojos).....	77
Figura 53 T.I.A en los ladrillos de la Ladrillera B .....	78
Figura 54 Compresión muretes horizontales ladrillera B .....	80
Figura 55 Compresión muretes horizontales ladrillera B (Retenedor) .....	81
Figura 56 Compresión muretes verticales ladrillera B .....	82
Figura 57 Compresión muretes verticales ladrillera B (Retenedor) .....	83
Figura 58 Flexión muretes horizontales ladrillera B.....	84
Figura 59 Flexión muretes verticales ladrillera B.....	85
Figura 60 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de compresión ladrillera B.....	86

Figura 61 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera B ...	87
Figura 62 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de flexión ladrillera B .....	87
Figura 63 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera B .....	88
Figura 64 TIA en los ladrillos de la Ladrillera C .....	88
Figura 65 Murete de 30 minutos de prehumedecimiento sin retenedor de agua .....	90
Figura 66 Compresión muretes horizontales ladrillera C .....	91
Figura 67 Compresión muretes horizontales ladrillera C (Retenedor) .....	92
Figura 68 Compresión muretes verticales ladrillera C .....	94
Figura 69 Compresión muretes verticales ladrillera C (Retenedor) .....	94
Figura 70 Flexión muretes horizontales ladrillera C .....	96
Figura 71 Flexión muretes verticales ladrillera C .....	97
Figura 72 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de compresión ladrillera C	98
Figura 73 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera C ...	98
Figura 74 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de flexión ladrillera C .....	99
Figura 75 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera C .....	99
Figura 76 TIA en los ladrillos de la Ladrillera D .....	100
Figura 77 Compresión muretes horizontales ladrillera D .....	102
Figura 78 Compresión muretes horizontales ladrillera D (Retenedor) .....	103
Figura 79 Compresión muretes verticales ladrillera D .....	104
Figura 80 Compresión muretes verticales ladrillera D (Retenedor) .....	105
Figura 81 Flexión muretes horizontales ladrillera D .....	106
Figura 82 Flexión muretes verticales ladrillera D .....	107
Figura 83 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de compresión ladrillera D .....	108

Figura 84 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera D .	109
Figura 85 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de flexión ladrillera D .....	109
Figura 86 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera D .....	110
Figura 87 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PH – Mortero sin aditivo .....	110
Figura 88 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PH – Mortero con retenedor de agua.....	111
Figura 89 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PV – Mortero sin aditivo .....	111
Figura 90 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PV – Mortero con retenedor de agua.....	112
	pág.

## GLOSARIO

**Absorción:** cantidad de agua que penetra en los poros de la unidad en relación con el peso seco. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE)

**Adherencia:** adhesión y enlace del concreto o el mortero al refuerzo o a otras superficies junto a las cuales es colocado. Capacidad del mortero para atender esfuerzos normales y tangenciales a la superficie que lo une en la estructura. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE)

**Junta de pega:** capa de mortero en cualquier dirección, utilizada para adherir las unidades de mampostería. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE)

**Mortero:** son mezclas elaboradas a base de uno o más conglomerantes (cemento y cal), arena limpia y bien gradada, agua y a veces aditivos como inclusores de aire, acelerantes, retardantes, hidrófugos, pigmentos de color, etc. (clasificación de los aditivos, UNE 83.200.84) (HISPALYT, 2008)

Otra definición de mortero puede ser: material de construcción constituido por la mezcla de un ligante y cargas minerales inertes, naturales o artificiales. (Sika, 2010)

**Mortero de pega:** elemento que une las unidades de ladrillo a través de las juntas verticales y horizontales, en virtud de su capacidad de adherencia. Debe tener una buena plasticidad y consistencia para poderlo colocar de la manera adecuada y suficiente capacidad de retención de agua para que las unidades de ladrillo no le roben la humedad y se pueda desarrollar la resistencia de la interface mortero-ladrillo, mediando la correcta hidratación del cemento-mortero. (Herrera & Madrid, s.f)

**Mortero hidráulico:** se puede definir como el material de construcción constituido por la mezcla de un conglomerante hidráulico, agua y arenas naturales o artificiales (cargas minerales inertes).

Los conglomerantes hidráulicos más utilizados son los cementos en general, aunque también se confeccionan morteros de cal y de cal más cemento, estos últimos denominados «bastardos». (Sika, 2010)

**Murete o prisma:** ensamble de piezas de mampostería con mortero de pega inyectadas o no de mortero de relleno usado como espécimen de ensayo para determinar las propiedades de la mampostería. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE)

**Retención de agua:** capacidad del mortero de pega para evitar la pérdida de humedad, manteniendo su estado plástico. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE)

**Reología:** parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.

**Tasa inicial de absorción:** medida de la cantidad de agua que absorbe una unidad de mampostería de arcilla en el primer minuto de contacto con el agua por unidad de área. (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE)

## **RESUMEN**

Este estudio tiene como objetivo medir la resistencia y la permeabilidad de muretes de ladrillos de arcilla cocida en función de la deshidratación del mortero en el momento de asentar las piezas. Se sabe que esta última variable afecta el fraguado del mortero en el límite con la unidad de mampostería, por lo que incide en la resistencia y permeabilidad final de la mampostería en agua; existen varios estudios y normas antecedentes que indican que el prehumedecimiento de las piezas o la mayor retención de agua en los morteros mejoran las propiedades de permeabilidad hasta el punto de que las normas ASTM indican que los ladrillos deben tener prehumedecimientos tan prolongados como inmersiones de 24 horas en agua antes de asentarse en el muro. Otras normas y estudios proponen tiempos más cortos y plantean como objetivo únicamente reducir la Tasa Inicial de Absorción de agua (TIA) a valores moderados sin que en unos y otros casos existan datos paralelos sobre el desempeño de las resistencias. Este estudio evalúa una amplia y variada cantidad de muretes hechos con ladrillos locales y concluye que se deben hacer prehumedecimientos moderados y uso de retenedores de agua para llegar a resultados óptimos de permeabilidad y resistencia; además se ofrecen explicaciones sobre el comportamiento de las propiedades estudiadas y propuestas sobre otros aspectos que tienen que ver con el mejor desempeño de la mampostería de ladrillo.

Palabras claves: mampostería, mortero de pega, prehumedecimiento, resistencia.

## **ABSTRACT**

This study aims to measure the strength and permeability of low walls of fired clay bricks in dehydration function of mortar at the time to set the pieces. It is known that this variable affects the hardening of mortar on the edge of the masonry unit, therefore affects the final strength and permeability of the masonry in water; there are several antecedents of studies and rules, indicating that prewetting parts or that the increased water retention in mortars, improve the permeability properties, to the extent that the ASTM rules indicate that the bricks must have prewetting as prolonged as immersions of 24 hours in water before setting on the Wall. Other rules and studies propose shorter times and suggest only as aim to reduce the initial rate of water absorption (TIA) <for its acronym in spanish> to moderate values, neither in both cases exist parallel data on the performance of the strength. This study evaluates a wide and varied amount of low walls made of local made bricks and concludes that moderate prewetings should be done and use water retainers to reach optimal results of permeability and resistance, moreover offer explanations for the behavior of the properties studied and other propositions in other matters concerning to the better performance of brick masonry.

Key words: masonry, mortar, prewetting, strength.



## INTRODUCCIÓN

Los muros de mampostería de ladrillo desempeñan funciones estructurales dentro de la edificación, que van desde sostenerse a sí mismos, en unos casos, hasta soportar la propia edificación cuando se hacen muros de mampostería estructural. Cuando estos muros, además, son las fachadas o cerramientos de las construcciones tienen que resguardar la obra de la intemperie, protegiéndola del ingreso de agua y funcionando como aislante térmico y acústico; se añaden requisitos estéticos de aspecto y acabado y por sobre todo la conservación de sus propiedades y funcionalidad en el tiempo, es decir, su durabilidad.

La permeabilidad y la resistencia de los muros tanto a compresión como a flexión, están íntimamente relacionadas: los muros con debilidades estructurales se fisuran o se agrietan dando paso a la entrada de agua y con ello a un mayor debilitamiento estructural y a todo tipo de acciones bióticas, químicas y físicas que debilitan y degradan las propiedades generales de los muros; la entrada del agua al interior de los mampostería puede propiciar además la corrosión de los refuerzos estructurales de acero, con lo que se comprenderá la importancia de mantener impermeable la cara exterior de las fachadas en ladrillo de arcilla.

La impermeabilidad de la mampostería está determinada fundamentalmente por la calidad de las juntas de pega, es decir, juntas de pega permeables producen muros permeables y viceversa, así que el control de la permeabilidad se enfoca y se concentra en el entendimiento del desempeño de las juntas desde el instante de su construcción, atendiendo todas las variables involucradas: los áridos y sus proporciones, el cemento y el contenido de agua, su espesor y sobre todo la deshidratación por parte de la unidad de mampostería, lo que por consiguiente involucra las variables propias del ladrillo que afectan la deshidratación.

Aunque se sabe que prehumedecer los ladrillos durante tiempos tan largos como 24 horas conduce a muros impermeables, no se tiene información sobre la resistencia final resultante; la recomendación de un prehumedecimiento tan largo es viable en construcciones pequeñas y artesanales, pero es poco práctica y casi imposible en construcciones industrializadas en las que se usen grandes volúmenes de ladrillos; por lo expresado, se hace necesario buscar alternativas de manejo validadas con las propiedades finales de permeabilidad y resistencia que permitan expedir recomendaciones prácticas dirigidas a tener fachadas resistentes e impermeables más capaces de resistir la intemperie con costos de mantenimiento reducidos.

# 1. PRELIMINARES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La vivienda cumple una función fundamental en la vida humana y en la construcción de su civilización, la posibilidad de aislarse de las inclemencias del tiempo y de resguardarse del medio posibilita al hombre para una vida más productiva. El papel de la vivienda es pues, fundamental y por ende todos los aspectos relacionados con ella adquieren la misma importancia; no solo los materiales y los sistemas constructivos y estructurales sino también el entendimiento de sus patologías y de todos los aspectos que conducen a un mejor desempeño y a una mayor durabilidad de las obras construidas.

La historia milenaria del ladrillo lo convierte, a este material, en un protagonista de primera línea en la historia de la civilización y de la construcción de edificaciones; es posiblemente el material de construcción artificial más antiguo, versátil y exitoso que ha tenido la construcción y de ello dan testimonio miles de obras a lo largo de la historia y a través de todas las culturas, civilizaciones, estilos arquitectónicos y sistemas constructivos.

Medellín no es la excepción de esta historia del ladrillo; por el contrario, es una referencia nacional e internacional en cuanto al uso de este material, historia que se inició con obras transformadoras a finales del siglo XIX y principios del XX y continuó con un uso creciente y masivo del producto en la construcción interior de la ciudad, en las casa comunes de 1 y 2 pisos de los barrios de todas las clases y condiciones hasta un uso casi exclusivo en el desarrollo de edificios en altura a partir de los años 70, de manera continua hasta el presente. La siguiente serie de imágenes, fotografías da cuenta del uso del ladrillo en Medellín.



**Figura 1 Uso general del ladrillo en Medellín (Aristizábal Gil)**



**Figura 2 Medellín ciudad roja comunas Nororientales (Aristizábal Gil)**



**Figura 3 Barrio el Poblado construcción moderna en ladrillo (Aristizábal Gil)**



**Figura 4 Uso de ladrillo en edificios en altura (Aristizábal Gil)**





**Figura 5 Catedral Metropolitana Medellín, Obra emblemática e histórica en ladrillo**



**Figura 6 Medellín por dentro: barrios del Occidente en ladrillo (Aristizábal Gil)**



**Figura 7 Desarrollo de la construcción en ladrillo. Vista aérea del poblado 2010  
(Aristizábal Gil)**

Debe entenderse que en un uso tan intenso y extenso, deben encontrarse desde los mayores aciertos hasta los peores fracasos en la aplicación del material y que Medellín es el espacio ideal para conocer y entender el uso del ladrillo. En sus construcciones está la clave del éxito en su uso, estudiando las patologías existentes sus causas y sus potenciales métodos de diseño y construcción para prevenirlas.

No son muchas las patologías asociadas al uso del ladrillo; se resumen en rotura y fisuración de mampostería, desprendimiento de piezas de bordes de losa, humedad y permeabilidad de muros y meteorización de ladrillos; frecuentemente las unas se conectan con las otras y todas se originan sin excepción en errores de diseño y de construcción. La permeabilidad de las fachadas en ladrillo se relaciona con un potencial de degradación importante de las propiedades de los muros, que redundan en mantenimientos de fachadas más costosos y frecuentes, un deterioro del aspecto de las fachadas que constituyen los acabados exteriores de las edificaciones, en un detrimento patrimonial para los constructores y los usuarios que asumen los sobrecostos y en un fracaso del producto cuyo desempeño puede resultar, en tales casos de permeabilidad en un fracaso del producto en relación con sus expectativas y posibilidades.

Por lo tanto, es del interés de los productores de ladrillo, de los constructores y de los usuarios poder determinar aquellas prácticas constructivas que favorezcan la impermeabilidad general de las fachadas de ladrillo frente a la intemperie. Se sabe que el ingreso de agua al interior de los muros de fachada se produce básicamente a través del mortero de las juntas de pega entre ladrillos, bien sea por su porosidad excesiva o por su fisuración y despegue en la interface con los ladrillos; el control de la fisuración es clave en la contención de la permeabilidad de los muros. Entre las causas varias de la fisuración interesa, en el caso particular de esta investigación, enfocarse el entendimiento de la que se produce como consecuencia de la deshidratación de los morteros por parte de los ladrillos en el momento de asentarse: los ladrillos son materiales porosos con capacidad de succión, mayor cuando el ladrillo está seco y, lógicamente menor cuando está húmedo y

sus poros contienen agua. La capacidad de absorber agua en el momento en que entra en contacto con el mortero, es decir, la Tasa Inicial de Absorción junto con la capacidad del mortero de ceder el agua que contiene, determinarán el grado de deshidratación final del mortero.

Es necesario entonces conocer cómo cambian las propiedades fundamentales de los muros – resistencia y permeabilidad - en función de la Tasa Inicial de Absorción de los ladrillos y de la capacidad de retención de agua de los morteros con el fin de encontrar recomendaciones que resulten prácticas y garanticen un desempeño adecuado de las fachadas. Este estudio, que se enfoca a estudiar ese comportamiento y expedir tales recomendaciones cobra importancia adicional por su aplicabilidad no solo en fachadas convencionales sino también en la optimización de la calidad de la mampostería estructural.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Medir la resistencia y permeabilidad de muretes de ladrillos de arcilla en función del prehumedecimiento de los ladrillos en el momento de asentarse y de la capacidad de retención de agua del mortero con el fin de expedir recomendaciones de construcción dirigidas a mejorar la calidad de la mampostería de fachada y estructural.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar varios tipos de ladrillo representativos de las mamposterías más usadas e importantes en el Valle de Aburrá, con el fin de validar los resultados del estudio para el tipo de materiales locales más usados y para las variaciones de propiedades que se presentan dentro de los mismos.
- Conocer las propiedades de resistencia a compresión y de absorción de agua de los ladrillos y morteros utilizados actualmente en el medio de construcción para mampostería no estructural y establecer relaciones entre estas propiedades y los resultados de las pruebas en los muretes.
- Analizar y establecer relaciones entre los resultados de falla de los muretes, las resistencias de las unidades individuales y del mortero con la fórmula matemática que contiene la NSR-10 para predecir la resistencia a compresión de la mampostería ( $f'_m$ ) a partir de las resistencias individuales de los materiales.
- Extrapolar los resultados del estudio a las prácticas constructivas comunes actuales y hacer unas críticas de las mismas.
- Analizar, investigar y reflexionar sobre las condiciones de límite en la interface mortero-ladrillo, su relación con las resistencias a compresión a cortante y a flexión de los muros, los mecanismos físico-químicos que ocurren en el fraguado del cemento y como éstos

se afectan con las condiciones de prehumedecimiento y su posterior influencia en los resultados.

- Proponer temas de investigación complementarios, que permitan mejorar el entendimiento de los fenómenos estudiados o que surjan como necesarios para explicar mejor el desempeño de la mampostería de ladrillo de arcilla.

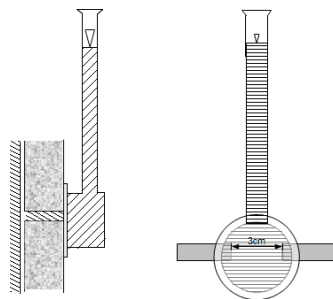
### 1.3 MARCO DE REFERENCIA

#### 1.3.1 Justificación

El ladrillo de arcilla es un material de uso masivo y general en Medellín como material de fachada y es creciente su aplicación en mampostería estructural; la durabilidad y desempeño de los muros de ladrillo expuestos a la intemperie tienen que ver en gran medida con su permeabilidad y ésta a su vez con las propiedades de absorción y retención del agua del ladrillos y el mortero respectivamente en el momento de la construcción del muro. No existe información concluyente y definitiva ni de orden general ni en nuestro medio que pueda servir para expedir recomendaciones respaldadas en mediciones reales. El presente estudio contiene ensayos y análisis nuevos que ofrecen información importante y necesaria para mejorar las prácticas constructivas actuales.

#### 1.3.2 Antecedentes

La permeabilidad de la mampostería de ladrillo a la vista es un parámetro básico de su calidad y tiene mucho que ver con su desempeño a largo plazo, no solamente con su durabilidad sino con el confort higrotérmico de la vivienda; de hecho se han desarrollado métodos de ensayo para hacer mediciones directas de la permeabilidad, algunos complejos como los de la norma ASTM E514 / E514M - 11 (Standard Test Method for Water Penetration and Leakage Through Masonry), ASTM C1715 - 10 (Standard Test Method for Evaluation of Water Leakage Performance of Masonry Wall Drainage System) y otros más prácticos como el de la pipeta de Karsten, adoptada internacionalmente para medir la penetración de agua en los muros y evaluar el desempeño de los recubrimientos hidrorrepelentes (<http://www.watersealant.com/rilem-technical-bulletin.pdf>)



**Figura 8 Diagrama explicativo del uso del tubo RILEM (Aristizábal Gil)**



En los últimos años se ha vuelto común el uso de esta pipeta en el estudio patológico de edificaciones en ladrillo a la vista para medir la permeabilidad de las fachadas. La información suministrada por profesionales especializados (Aristizábal Gil, Manejo y Protección del ladrillo a la vista, 2004) indica que una circunstancia común en nuestro medio es que las fachadas de ladrillo a la vista son permeables a través de las juntas de pega, aunque tengan tratamientos hidrorrepelentes recientes, debido principalmente a la mala calidad de las juntas. Es decir, la situación descrita muestra que los ladrillos con tratamientos hidrorrepelentes incoloros impiden la infiltración del agua mientras que las juntas entre ladrillos tratadas con los mismo hidrorrepelentes dejan pasar el agua (ver Figura 9)



**Figura 9 Pruebas con tubo RILEM en fachadas de ladrillo recién hidrofugadas**

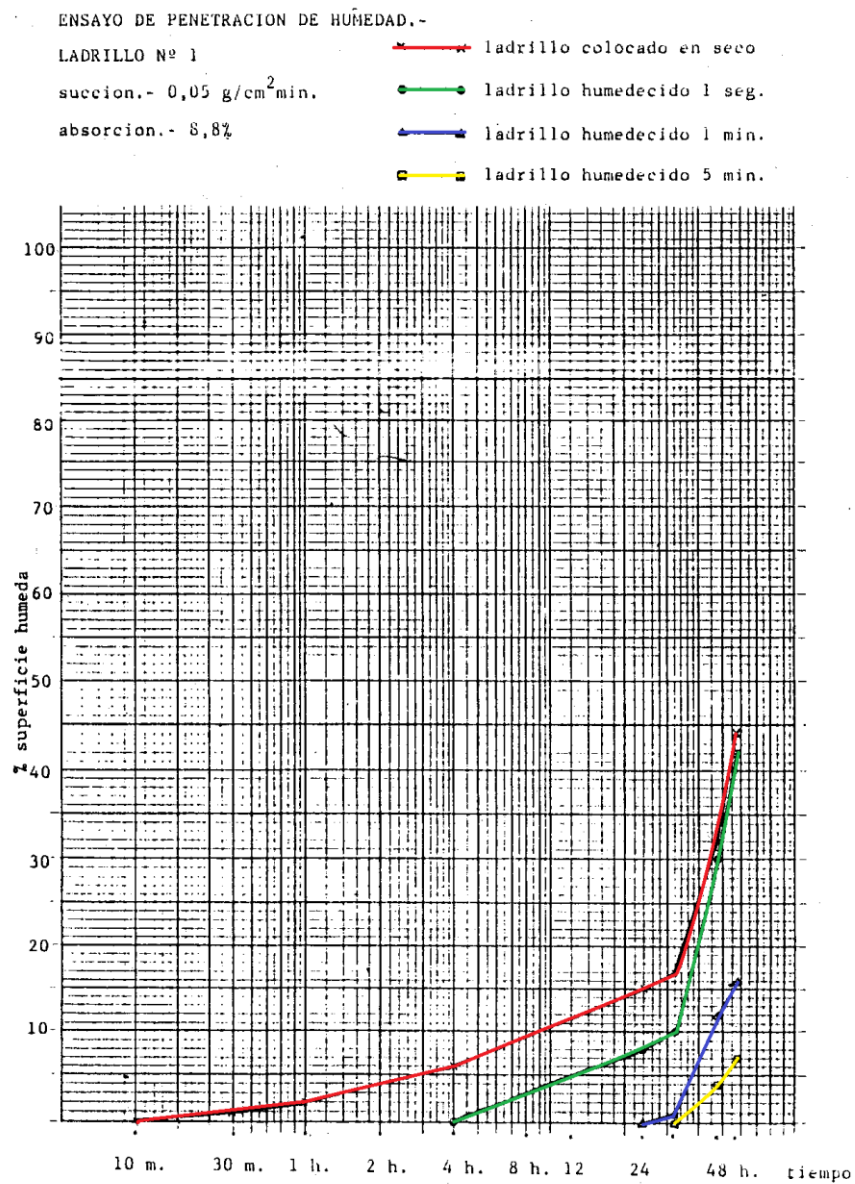
El resultado muestra que los ladrillos tratados con hidrorrepelentes no permiten el paso de agua mientras que el mortero de las juntas aunque tiene el mismo tratamiento, es permeable.

Esta circunstancia no es general en las fachadas sino que se concentra en los sectores donde hay fisuración visible en la interface entre el mortero y ladrillo y tiene como consecuencia aspectos negativos sobre la evolución de los muros que van desde el deterioro del aspecto y el mayor contenido de humedad en la fachada con detrimento de las condiciones higrotérmicas interiores y afectación de acabados como estucos y pinturas hasta la degradación exterior de los ladrillos como consecuencia del ingreso de agua al interior de su masa bajo condiciones de hidrorrepelencia en la superficie exterior.

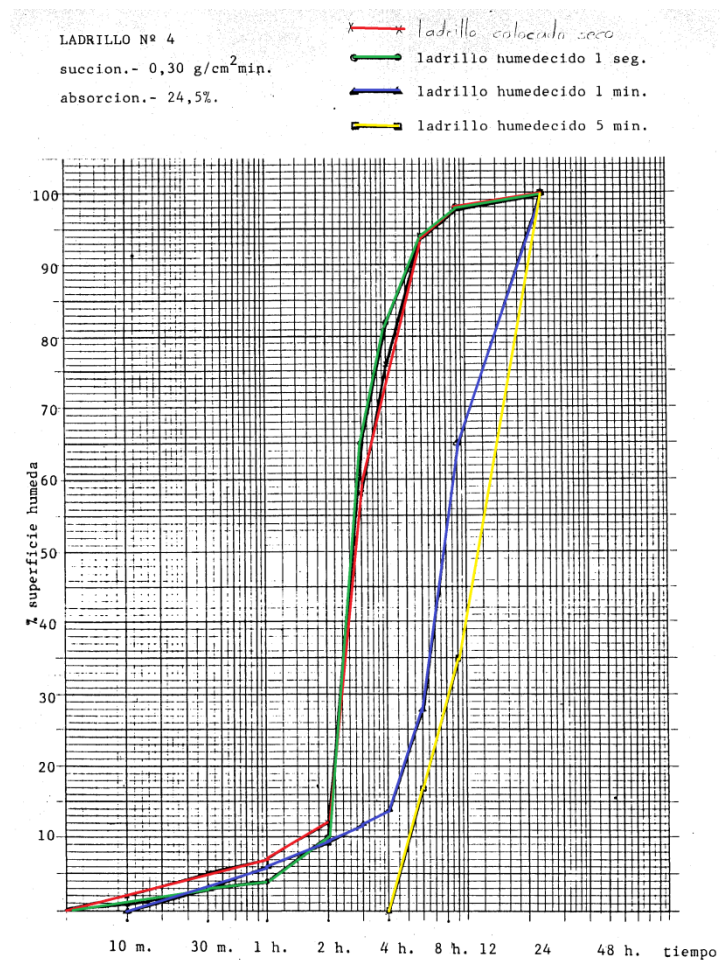
Los fabricantes de hidrófugos (Hidrorrepelentes incoloros a base de siliconas) establecen que este tipo de producto es eficaz bajo condiciones ordinarias de porosidad como las de los ladrillos y la del mortero pero no impiden el paso de agua a través de grietas y fisuras. Esta condición, que no haya fisuras entre el mortero y los ladrillos no se puede lograr sino media una práctica constructiva adecuada. La realidad indica que muchas de las fachadas existentes en nuestro medio aún con hidrófugo son permeables por la junta de pega lo que sitúa el análisis en el control de dicha fisuración. Descontando otras causas potenciales de fisuración como fallas de diseño y construcción, el análisis se enfoca en la deshidratación del mortero de pega en el momento de asentar los ladrillos, un estudio clásico sobre este



tema realizado por HISPALYT en 1985 indican que el prehumedecimiento de los ladrillos o el uso de unidades con Tasas Iniciales de Absorción moderadas contribuye a la destrucción de juntas impermeables como se muestra en las siguientes imágenes.



**Figura 10** Ensayo de penetración de humedad para ladrillos de arcilla. Ladrillo No. 1 (HISPALYT-INCE, 1985)



**Figura 11 Ensayo de penetración de humedad para ladrillos de arcilla. Ladrillo No. 2 (HISPALYT-INCE, 1985)**

También hay otros antecedentes como la NTC 4205, que indica que no solo el prehumedecimiento de los ladrillos es la única alternativa de control sino que la retención de agua por parte del mortero contribuye a lograr el objetivo de impermeabilidad de las juntas. En pruebas directas de mojado de muros construidos con ladrillos de fachada sin prehumedecimiento y a los cuales únicamente se les controló la retención de agua en los morteros evidencian el beneficio potencial de estos productos cuyas ventajas sobrepasan la mera manejabilidad del mortero durante su colocación ver Figura 20.

Otros antecedentes importantes son la aceptación general en el medio de la construcción y de la ingeniería de las ventajas y necesidad del prehumedecimiento de los ladrillos (Aristizábal Gil, La importancia del ladrillo en la actualidad, 2013) y de la retención de agua de los morteros pero en ninguno de los casos anotados se han hecho pruebas y ensayos sistemáticos que cubran ladrillos de tipos muy variados o que reproduzcan las condiciones de los morteros pobres típicos de los muros de fachada no estructurales de nuestro medio.

En relación con las resistencias de los muros a compresión y a flexión se tiene información general no relacionada con los parámetros en los que se enfoca este estudio pero se sabe que algunos códigos de construcción en el mundo como el de la India por ejemplo empiezan a involucrar la TIA en los cálculos del f'm (Resistencia a compresión de la mampostería).

La NSR-10 pide inclusive que se evalúe la TIA para efectos de determinar el prehumedecimiento requerido por los ladrillos, en reconocimiento de que debe moderarse la deshidratación de los morteros.

Hay antecedentes suficientes, por lo tanto, que indican la existencia de un problema de calidad constructivo asociado a la permeabilidad de las fachadas y de la relación de ello y de la calidad general de la mampostería con la deshidratación con los morteros de pega en función de la TIA de los ladrillos y de la capacidad de retención de agua del mortero.

### **1.3.3 Marco Teórico**

#### **1.3.3.1 Definiciones**

##### **Propiedades del mortero en estado fresco:**

**Plasticidad:** es la característica que define la manejabilidad o trabajabilidad del mortero para su fácil colocación. Es una combinación de plasticidad, adhesión, cohesión, y consistencia, que se mejora utilizando cal ya que aumenta el número de finos, sin perjudicar significativa su resistencia. Depende de:

- Granulometría de la arena
- Proporción de los materiales
- Contenido de aire

En general se acepta como medida de la manejabilidad, la característica de fluidez de la mezcla, sin que pierda homogeneidad, medida en el ensayo de la mesa de flujo (ASTM C230), aunque hasta el momento esta propiedad ha dependido del maestro, oficial y ayudantes.

**Relación Agua-cemento A/C:** es la proporción másica entre el contenido de agua y el contenido de cemento. De ésta dependen la manejabilidad, la consistencia, la plasticidad y la resistencia y por consiguiente su aptitud.

Una relación A/C baja presenta una consistencia seca, difícil de manejar, poco plástica, más resistente, poco porosa y de baja compactación.

Una relación A/C alta presenta una consistencia plástica, fácil de manejar, mediana porosidad y alta compactación. A mayor adición de agua, mayor será la fluidez de la mezcla presentando disgregación o separación de sus componentes aumentando la porosidad y disminuyendo su resistencia, dureza y desgaste.

**Retención de agua:** capacidad del mortero bajo succión para retener el agua necesaria para la hidratación del cemento en ambientes absorbentes para el amasado al contacto con el ladrillo.

La utilización de cal y aditivos mejoran esta propiedad, necesaria según el grado de succión del ladrillo utilizado y de las condiciones meteorológicas existentes. (HISPALYT, 2008)

**Retenedores de agua:** compuestos hidrófilos o adsorbentes que se adicionan a las mezclas de cemento con el fin de mantener el agua durante más tiempo en condiciones de deshidratación por succión o por evaporación y garantizar el agua estequiometría de fraguado.

Hay de varios tipos, a partir de CMC (Carboximetilcelulosa), poliméricos o, simplemente cal, cuyo uso en fachadas se ve limitado por los problemas de eflorescencias asociados que puede presentar (Aristizábal Gil, Propiedades de los morteros, 2013)

**Contenido de aire:** el aire ocluido en un mortero, se produce por efectos mecánicos o por medio de un aditivo aireante. A medida que aumenta el contenido en aire, aumenta la trabajabilidad y la resistencia a los ciclos hielo-deshielo; por contra disminuye la resistencia, la adherencia y la impermeabilidad. (HISPALYT, 2008)

**Fraguado:** endurecimiento del mortero y en general de cualquier mezcla con cemento; el desarrollo de la resistencia se da a medida que ocurre la hidratación del cemento. Del fraguado adecuado, en condiciones de humedad correctas, dependen la adherencia del mortero y el ladrillo y la resistencia de la mampostería.

Los tiempos de fraguado inicial y final en una mezcla deben estar en los límites adecuados. Los acelerantes y los retenedores de agua generalmente tienden a reducir la resistencia final, excepto con la cal que se pueden incrementar. El contenido de aire y de humedad dentro del mortero en las etapas iniciales es determinante de la reología y de las fases químicas y cristalográficas que se pueden desarrollar (ver 1.3.3.5 Fraguado del cemento y contenido de humedad).

#### **Propiedades del mortero en estado endurecido:**

**Adherencia:** característica que mantiene adecuadamente unidos los ladrillos usados en mampostería por medio de juntas de mortero. Esta adherencia depende de las características del mortero y del ladrillo, la humectación de los ladrillos antes de su colocación, un adecuado llenado de juntas, así como de la correcta puesta en obra de ambos. Una buena adherencia produce mayor resistencia global del muro y mayor impermeabilidad. (HISPALYT, 2008)

Los morteros de baja capacidad de retención de agua y los morteros de alta resistencia poseen una adherencia pobre, mientras que los morteros plásticos con buena capacidad de retención de agua y que no requieren de superficies húmedas para su colocación, presentan una buena adherencia. (Ruiz, 2011)

La adherencia depende, además, del grado de contacto del mortero con la superficie de la unidad, del contenido de aire y retención de agua en el mortero y de su cohesión, de la textura de los ladrillos, del tiempo entre el esparcimiento del mortero y la colocación del ladrillo y del curado. (Jiménez, 2009)

**Resistencia a la flexión y compresión en morteros:** están en relación directa con el contenido de cemento, los áridos empleados y las condiciones de fraguado: relación A/C y curado. En la mampostería, el desempeño del mortero a flexión y compresión depende además del espesor de la junta y de la adherencia que desarrolle con la unidad de mampostería.

Hay dos leyes fundamentales que se aplican a la resistencia de un mortero compuesto del mismo cemento con diferentes proporciones y tamaños de arena: la primera indica que con un mismo agregado, el mortero más resistente e impermeable es aquel que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen de mortero, generalmente el más impermeable es aquel que tenga la mayor densidad o sea aquel que en unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

Sin embargo las propiedades de un mortero hidráulico, como durabilidad, permeabilidad y porosidad, no dependen únicamente de la calidad del cemento sino también de su composición granulométrica y de las dimensiones y posiciones relativas de los diferentes elementos que lo componen.

El efecto del agua sobre la resistencia depende también de la densidad del mortero resultante. Morteros secos dan mayor resistencia que morteros húmedos porque estos pueden ser más densamente compactos. Los morteros plásticos dan resultados más uniformes. (Ruiz, 2011)

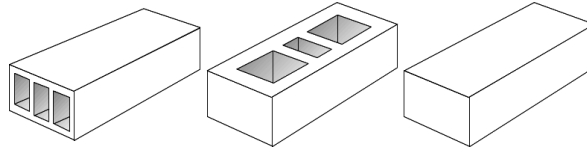
Para resistencias típicas de los morteros véase 1.3.3.2 Morteros de pega.

**Durabilidad:** vida útil del mortero, la cual está directamente relacionada con la impermeabilidad y resistencia a los agentes externos pues mientras más impermeable y resistente sea la junta más tiempo de duración tendrá (Sika, 2010). La durabilidad expresa el equilibrio para unas condiciones de trabajo o exposición, es decir, se obtienen morteros durables para unas condiciones dadas y se mantendrá la durabilidad mientras que la severidad de la exposición sea menor que la resistencia del mortero a soportar las condiciones de servicio.

**Permeabilidad:** capacidad de los morteros de dejar pasar a gua a través de sí mismos; depende de su porosidad y de la red capilar interior, que a su vez está relacionada con la granulometría, el contenido de cemento, la relación A/C y su plasticidad. En general, bajos contenidos de cemento, altas relaciones A/C, arenas gruesas y plasticidades bajas se asociación a morteros permeables. La permeabilidad de la junta no solo depende de la permeabilidad del mortero, sino de la fisuración en la interface mortero-ladrillo, condición relacionada con el grado de deshidratación que sufre el mortero por parte de la unidad de mampostería.

### Definiciones relacionadas con los ladrillos:

**Clasificación de los ladrillos:** los ladrillos pueden clasificarse de distintas maneras según el enfoque o la manera en la que se aborden: si se toman con base en sus perforaciones puede clasificarse como macizos, semimacizos o huecos y, estos últimos, en ladrillos de perforación vertical o de perforación horizontal, si los ejes de las perforaciones son paralelos a la unidad (PH) o perpendiculares a la cara en la que se asientan (PV) tal como se observa en la Figura 12.



**Figura 12 Clases de ladrillos según el tipo de perforación (Aristizábal Gil)**

En los ladrillos prensados por extrusión las caras horizontales en las que se asientan en el muro son lisas y de baja porosidad, mientras que las caras en las que se asientan los ladrillos de perforación vertical, que se obtienen por cortes en alambres de acero, son rugosas y más porosas, por lo que su TIA tiende a ser más alta que en las unidades de perforación horizontal. Además las unidades de perforación vertical tienen áreas de contacto con el mortero del orden de la mitad de las que tienen las unidades horizontales. Otra diferencia fundamental entre estos tipos de unidades, es que la resistencia a compresión tiende a ser unas 5 veces superior que la resistencia a compresión de las unidades horizontales.

También se destaca que la mampostería construida con ladrillos de perforación vertical puede llegar a ser bastante más permeable que la hecha con unidades horizontales (Aristizábal Gil, La importancia del ladrillo en la actualidad, 2013).

Otra clasificación de los ladrillos es la que se da con base en la resistencia y aptitud estructural de donde surgen ladrillos estructurales para mampostería estructural que reciben cargas de la edificación y ladrillos no estructurales para muros que no toman más cargas que su propio peso.

Finalmente, los ladrillos pueden clasificarse con base en su aptitud para construir fachadas: ladrillos resistentes a la intemperie y con propiedades adecuadas de acabado se clasifican como ladrillos de fachada; en caso contrario se llaman y sirven como ladrillos de interior.

**Absorción:** es la capacidad de los ladrillos de contener agua dentro de sus poros y red capilar. En general está relacionada con el proceso de fabricación, la molienda o finura de la materia prima, la compactación durante su formación o moldeo y con la temperatura de cocción.

Tiende a ser inversamente proporcional a la resistencia y a la durabilidad y directamente proporcional a la TIA. En general se busca que la absorción sea moderada, en valores que correspondan a cocciones de altas temperaturas y altas resistencias mecánicas. La

absorción no es un parámetro absoluto de calidad y puede cambiar entre materias primas y procesos.

La Norma Técnica Colombiana (NTC-4017) establece que la absorción de cada espécimen se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ absorción} = \frac{100 * (W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

Dónde:

Ws: masa seca del espécimen antes de inmersión (g)

Wss: masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría (g)

### **Tasa Inicial de Absorción (TIA) de los ladrillos**

Es la capacidad de absorción que tienen los ladrillos secos durante el primer minuto de contacto con el agua. La norma NTC-4017 fija requisitos mínimos de prehumedecimiento para su colocación de acuerdo con su TIA.

**Tabla 1 Tasa inicial de Absorción (TIA)**

Tasa Inicial de Absorción g/cm <sup>2</sup> /min	Tiempo recomendado de prehumedecimiento
< 0,10	5 min
< 0,15	1 h
< 0,25	24 h

Cuando se tengan valores diferentes a los que se muestra en la Tabla 1 se debe vigilar requisitos de absorción y resistencia y fijar tipos de morteros y tipos de prehumedecimiento apropiados.

**Resistencia a compresión:** es la capacidad del ladrillo de soportar cargas verticales, perpendiculares al plano en el que se asienta. La resistencia del ladrillo tiende a ser un porcentaje significativo de la resistencia del muro siempre y cuando se usen morteros resistentes y juntas delgadas, con espesores máximos de 10mm.

**Cocción:** proceso al que se someten los ladrillos de arcilla durante su fabricación, consistente en llevarlos a temperaturas elevadas dentro de hornos apropiados, con el fin de que se desarrollen reacciones entre sus componentes y se formen fases pétreas duras, resistentes y estables que es lo que se conoce como cerámica o arcilla cocida. La cocción de los ladrillos suele darse a temperaturas entre 900 y 1050 °C. De una cocción adecuada se derivan resistencias mecánicas adecuadas, absorciones de agua moderadas y piezas durables, resistentes a la intemperie.

**Meteorización:** proceso físico-químico que lleva a la descomposición y desintegración de los materiales expuestos a la intemperie, por la acción de los agentes meteóricos, biológicos y del uso u ocupación. En el caso de los ladrillos generalmente se relacionan con piezas de

calidad deficiente o con entornos agresivos o condiciones severas, más allá de la capacidad de los materiales para soportarlas en el mediano o largo plazo. La permeabilidad de las fachadas bajo condiciones de hidrorrepelencia superficial exterior, constituye una de las condiciones de servicio más severas, de la que resultan procesos intensos de meteorización

#### **Definiciones relacionadas con los muretes:**

**Murete:** paralelepípedo conformado por dos o más unidades de mampostería unidas con mortero de pega. Se construyen buscando reproducir las condiciones reales de obra (ladrillos, morteros y mano de obra), con el fin de medir sus propiedades y extrapolarlas a la mampostería. Los parámetros de resistencia que se obtienen de los muretes ajustados a la NSR-10 (D.3.7.2) sirven para comprobar la resistencia de la mampostería ( $f'm$ ) y verificar que se estén cumpliendo los requisitos de diseño.

Los muretes pueden ser ensayados a compresión, cortante y flexión según distintos procedimientos y métodos que aplican en cada caso. Los resultados de esas pruebas se consideran como la resistencia de la mampostería.

**Esbeltez:** es la relación existente entre el ancho y la altura del murete y está limitado por la NSR-10 a un valor entre 1,5 y 5 con una altura máxima de 300 mm para el murete y a unos factores de corrección que se indican en la tabla 4 de más adelante.

**Obtención del  $f'm$  mediante el empleo de fórmulas:** el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, permite obtener el  $f'm$  por distintos métodos: estadístico (D.3.7.2), experimentalmente midiéndola mediante ensayos de laboratorio (D.3.7.3) o calculada mediante fórmulas que se basan en la calidad de los materiales (D.3.7.5). Para el cálculo teórico de la resistencia de los muretes, el Reglamento propone las siguientes formulas:

$$Rm = \left( \frac{2h}{75 + 3h} \right) * f'cu + \left( \frac{50Kp}{75 + 3h} \right) f'cp \leq 0,8f'cu$$
$$f'm = 0,75Rm$$

Dónde:

Rm: parámetro definido por medio de la ecuación (D.3.7-1, de la Norma NSR-10)

h: altura de la unidad de mampostería, en mm,

$f'cu$ : resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta, MPa.

$f'cp$ : resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, MPa.



Kp: factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional, en la determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería no inyectada.

Kp = 1,4, para unidades de concreto

Kp = 0,8, para unidades de arcilla o sílico-caláceas

f'm: resistencia especificada a la compresión de la mampostería, MPa.

Al analizar la fórmula anterior para calcular la resistencia de los muretes, se observa que dentro de ella interviene el parámetro Kp, el cual, es un factor de corrección por absorción del ladrillo, este factor es tenido en cuenta en la formula debido a que la deshidratación del mortero está directamente relacionada con la absorción y tiene un efecto directo sobre la resistencia.

### **Definiciones relacionadas con la mampostería:**

Tipos de mampostería: con base en las cargas que toma un muro dentro de la edificación, la mampostería puede ser estructural cuando soporta cargas de la edificación y no estructural en caso contrario, es decir que solamente soporta su propio peso. La mampostería estructural puede ser reforzada o no según el tipo de construcción y las limitaciones que para cada tipo de mampostería estructural imponen las normas de construcción sismo resistente. La mampostería reforzada se divide a su vez en varios tipos de acuerdo con las cuantías y posibilidades de aplicación, siempre en consonancia con dichas normas.

Los muros que no toman cargas de la edificación y que solamente soportan su propio peso se consideran elementos no estructurales y deben ser diseñados y contruidos de conformidad con las normas citadas, de manera tal que se tenga una adecuada conexión o anclaje a la estructura que garanticen la estabilidad de dichos elementos frente a cargas horizontales perpendiculares a sus propios planos.

La resistencia de la mampostería depende de sus dimensiones, distancias entre apoyos, esbeltez, refuerzos, de la resistencia de sus partes o elementos constitutivos y de su calidad constructiva. En los elementos no estructurales son muy importante en el desempeño de los muros de mampostería, la excentricidad de las cargas compresivas y el tipo y rigidez de las conexiones con el pórtico o estructura, pues de la interacción entre ambos resultan cargas superiores a las que dichos elementos pueden soportar que derivan en fallas que van desde fisuración hasta rotura y colapso de los elementos. La fisuración induce permeabilidades secundarias que pueden afectar negativamente el desempeño de largo plazo de los muros de fachada (Aristizábal Gil, La importancia del ladrillo en la actualidad, 2013)

**Impermeabilidad de muros de fachada:** en las construcciones actuales, los muros tienden a ser más delgados, en muchas ocasiones cumpliendo solo funciones de cerramiento, entre las cuales es fundamental la capacidad de impedir el ingreso de la lluvia. La impermeabilidad de las fachadas debe ser un concepto integral que involucre elementos y

estructuras de diseño que garanticen que el agua no circule libremente por la edificación y evite la aplicación constante de hidrófugos. (Aristizábal Gil, 2004). Las fallas de permeabilidad conducen a un rápido deterioro de la calidad, no solo de la mampostera, sino de la vivienda y de las condiciones de habitabilidad. En la mampostería de ladrillo a la vista la impermeabilidad depende fundamentalmente de la impermeabilidad de las juntas de pega.

### 1.3.3.2 Morteros de pega: dosificación y clasificación

A menos de que se tengan diseños especiales, los morteros de pega se elaboran usando una parte de cemento y cuatro a cinco partes de arena. En cuanto al agua, deben conservar una adecuada relación de agua a cemento (A/C), se deben utilizar aditivos retenedores de agua e impermeabilizantes integrales y ayudar con su curado para mejorar su resistencia y su impermeabilidad (Aristizábal Gil, 2004).

La Tabla 2 muestra la clasificación y dosificación de los morteros de pega según la norma de morteros de albañilería UNE 83-800-94.

**Tabla 2 Dosificaciones del mortero**

Tipo de mortero	Resistencia característica (MPa)	Proporción cemento	Proporción cal aérea	Proporción cal hidráulica	Proporción arena
M-2,5	2,5				
A		1	-	-	8
B		1	2	-	10
C		-	-	1	3
M-5	7,5				
A		1	-	-	4
B		1	1	-	4
M-7,5	7,5				
A		1	-	-	4
B		1	1,2	-	4
M-15	15				
A		1	-	-	3
B		1	1/4	-	3

El artículo D.3.4.1 de la NSR-10 se refiere a las características que debe tener el mortero pega como la plasticidad, consistencia y la capacidad de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y garantizar una buena adherencia con las piezas de ladrillos de arcilla cocida.

La NSR-10 especifica la siguiente tabla para la dosificación de los morteros de pega para mampostería estructural:

**Tabla 3 Clasificación de los morteros de pega (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE)**

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad <sup>(1)</sup>			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión $f'_{cp}$ MPa <sup>(2)</sup>	Flujo en (%) <sup>(3)</sup>	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada <sup>(4)</sup>	Cemento para Mampostería <sup>(7)</sup>	Arena/Material Cementante <sup>(5)</sup>	
							Min.	Máx.
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N <sup>(6)</sup>	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

En la Tabla 3 se observa que la NSR-10 recomienda que los morteros tengan cal hidratada o cemento especial para la mampostería; esto indica que es muy importante la utilización de aditivos como retenedores de agua en la fabricación de muros de mampostería para contrarrestar la pérdida de agua por absorción del ladrillo.

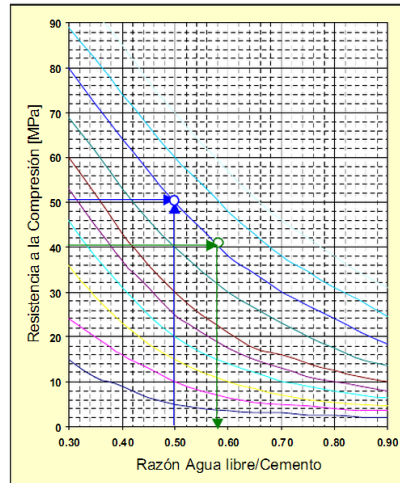
De la unión entre el mortero y el ladrillo, es decir, de las condiciones de la interface no solo depende la impermeabilidad sino el grado de adherencia que se alcanza entre ambos materiales, es decir, entiéndase las resistencias a cortante, a tracción y a compresión: si la red capilar se colmata de agua hasta el punto de que impida por completo la deshidratación del mortero, éste no penetra en los poros del ladrillo y no se da la adherencia.

En la actualidad, se cuenta con gran variedad de morteros dentro de los cuales están los conformados por cemento y arena, son resistentes, secos y de rápido endurecimiento pero no tienen mucha flexibilidad y se resquebrajan fácilmente. Se cuenta también con los conformados por cal y arena, que son más plásticos y de fácil aplicación pero de menos resistencia e impermeabilidad. Puede usarse también el de cemento, cal y arena que presenta las cualidades de los dos anteriores. Para mayor resistencia se puede aumentar la proporción de cemento y para mayor plasticidad se aumenta la cal. (HELLENIC CEMENT INDUSTRY ASSOCIATION, 2011). La plasticidad, en este caso, se refiere a la capacidad del mortero endurecido de responder a las cargas con deformación.

Un buen mortero es aquel en el cual el material aglomerante llena por completo los vacíos entre las partículas del árido (Ruiz, 2011).

Según la cantidad de agua adicionada a la mezcla, la resistencia variará. En la Figura 13 se muestra la relación entre la resistencia a compresión del hormigón versus la relación de agua-cemento A/C (Método inglés de diseño de mezclas, 1988)

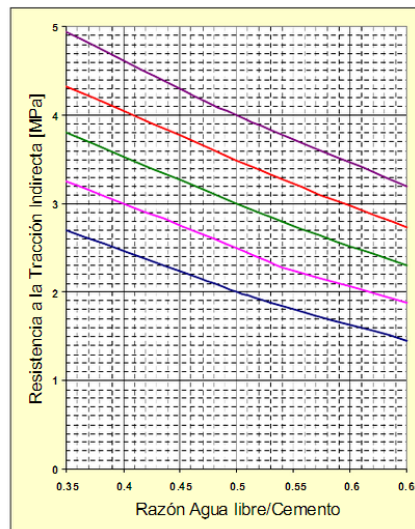
Método Inglés para Resistencia a Compresión:



**Figura 13. Relación entre resistencia a compresión y relación A/C para el Método Inglés de diseño de mezclas (1988) (Videla, 2010)**

La Figura 14 muestra la relación entre la resistencia a la tracción indirecta del hormigón versus la relación de agua-cemento A/C para el método inglés de diseño de mezclas (1975)

Método Inglés para Resistencia a Tracción Indirecta:



**Figura 14. Relación entre resistencia a la tracción indirecta y la relación A/C para el Método Inglés de diseño de mezclas (1975) (Videla, 2010)**

Con relación a la Figura 13 y a la Figura 14, se observa que la resistencia del mortero de pega está relacionada con la cantidad de cemento, las relaciones de agua/cemento y la distribución granulométrica del árido, es decir el módulo de finura; además, influyen los

aditivos que controlan su reología, el curado, el asentamiento y compactación, y la absorción de la superficie a la que se pega.

En nuestro medio, es común usar morteros entre tipos S y M, cuando se trata de mampostería estructural. Para los muros interiores y de fachada no estructurales, es común el uso de morteros 1:5 (cemento:arena), que son porosos y de baja resistencia y corresponden más al tipo N del Tabla 3 (Véase 3.1.2 Caracterización del mortero).

### 1.3.3.3 Construcción de muretes

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente exige los siguientes requisitos para la elaboración de muretes:

D.3.7.2.1 — Requisitos de elaboración de los muretes — Los muretes deben elaborarse con los mismos materiales y bajo las mismas condiciones que se presenten en la estructura. El contenido de humedad de los materiales debe ser el mismo que se tiene en la estructura en el momento de construirse. La calidad de la mano de obra debe ser la misma que se va a utilizar en la construcción. Cuando en la construcción se coloca el mortero de pega solamente en las paredes laterales de las unidades de perforación vertical, los muretes deben elaborarse colocando mortero de pega sólo sobre las paredes laterales y sin mortero de pega en los tabiques transversales, incluyendo los terminales.

Véase D.4.5.10.1 (b). Se deben elaborar muretes, tanto, con las celdas vacías, como muretes con las celdas rellenas, cuando especifique mampostería parcial o totalmente inyectada.

D.3.7.2.2 — Determinación del valor de  $f'_m$  — El valor de  $f'_m$ , para una muestra debe ser el promedio obtenido del ensayo de 3 muretes de igual procedencia, pero no debe ser mayor del 125 por ciento del menor valor obtenido en los ensayos.

También especifica el Reglamento que las dimensiones de los muretes deben ser de mínimo 30 cm de altura y la relación de esbeltez (altura/espesor) mayor o igual que 1,5 y menor o igual que 5. Al realizar los cálculos experimentales de la resistencia del murete ( $f'_m$ ), de acuerdo con lo estipulado en la norma técnica colombiana NTC-3495, el resultado de cada ensayo se obtiene por la división de la carga última por el área neta del prisma. A continuación se debe ajustar multiplicándolo por el factor de corrección por esbeltez de acuerdo a la Tabla 4.

**Tabla 4 Factor de corrección por esbeltez**

Relación altura/espesor del murete	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
Factor de corrección	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

### 1.3.3.4 Resistencia de la mampostería: mecanismos de falla

Hay diferentes tipos de mecanismos de falla en los muros de mampostería, dependiendo del grado de confinamiento, del refuerzo de acero que contengan, de su esbeltez y del tipo de cargas a las que estén sometidos.

#### **Falla de corte por deslizamiento:**

El agrietamiento por deslizamiento se presenta a lo largo de la junta horizontal de mortero como consecuencia de una pobre adherencia entre las unidades y el mortero.

#### **Falla de corte**

El agrietamiento por corte se puede presentar en forma de escalera siguiendo la junta de mortero, caracterizada por su forma diagonal a lo largo del muro y es consecuencia de las tensiones de tracción diagonal o esfuerzos de corte que se producen en el mismo.

#### **Falla de flexión**

El agrietamiento se presenta en forma vertical en las esquinas y el centro, que puede presentarse en muros esbeltos, y produce una falla de compresión por flexión en el talón comprimido del muro. La cara sometida a tracción se agrieta en las juntas de pega y la cara comprimida falla por aplastamiento.

#### **Falla de aplastamiento por compresión diagonal**

Esta falla es producto del efecto de puntal que se produce cuando se separa el cuerpo del muro de los elementos de confinamiento, situación que genera grandes tensiones de compresión en las esquinas del muro, las que pueden provocar la falla por aplastamiento de la zona cuando la mampostería es de baja calidad o cuando se usan unidades del tipo rejilla de paredes delgadas. (Páez Moreno, Parra Rojas, & Montaña Gutiérrez, 2009)

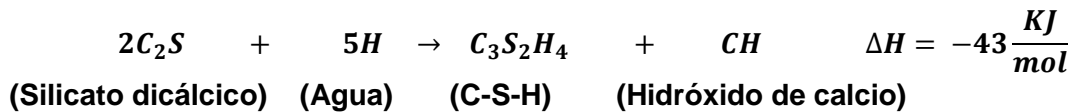
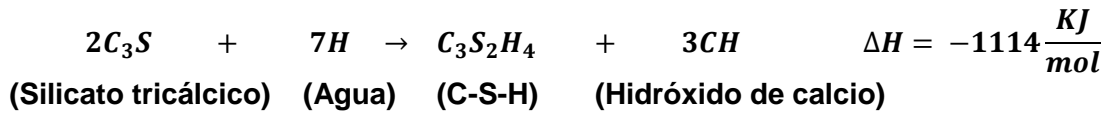
#### **1.3.3.5 Etapas del fraguado e hidratación del cemento Portland**

Los procesos físicos y químicos entre el agua y el cemento Portland dan como resultado el endurecimiento y fraguado del mortero; este proceso se denomina “hidratación”; para entenderlo, se debe conocer el proceso de fabricación y su composición. El cemento Portland se forma cuando el Clinker sale del horno y se deja enfriar para luego molerlo junto con yeso.

El Clinker está compuesto por los siguientes minerales:  $C_3S$  (silicato tricálcico),  $C_2S$  (silicato dicálcico); ambos minerales constituyen entre el 75 y el 80% del peso del cemento),  $C_3A$ ; están además el aluminato tricálcico y el ferrito aluminato tetracálcico de silicio ( $C_4AF$ ) y otros compuestos minoritarios como  $MgO$ , cal libre y sulfatos de álcalis.

Los procesos químicos que determinan el proceso del fraguado del cemento son muy complejos, por lo que se debe estudiar por separado el comportamiento de cada uno de los minerales que conforman el clinker en el momento de la hidratación.

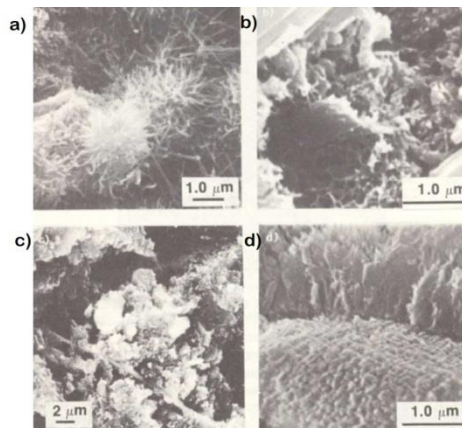
- **Hidratación de los silicatos de calcio ( $C_3S$  y  $C_2S$ ):** ambos minerales son muy similares en el proceso de hidratación, ya que solo varían en las cantidades de CH y de calor de hidratación liberado durante las reacciones.



El producto principal de la hidratación es un hidrato de silicato cálcico (C-S-H), que es una materia no cristalina de composición variable (geliforme) de partículas muy pequeñas (menos de 1 micra en cualquier dimensión); contrario al hidróxido de calcio (CH) que es una materia cristalina con una composición fija.

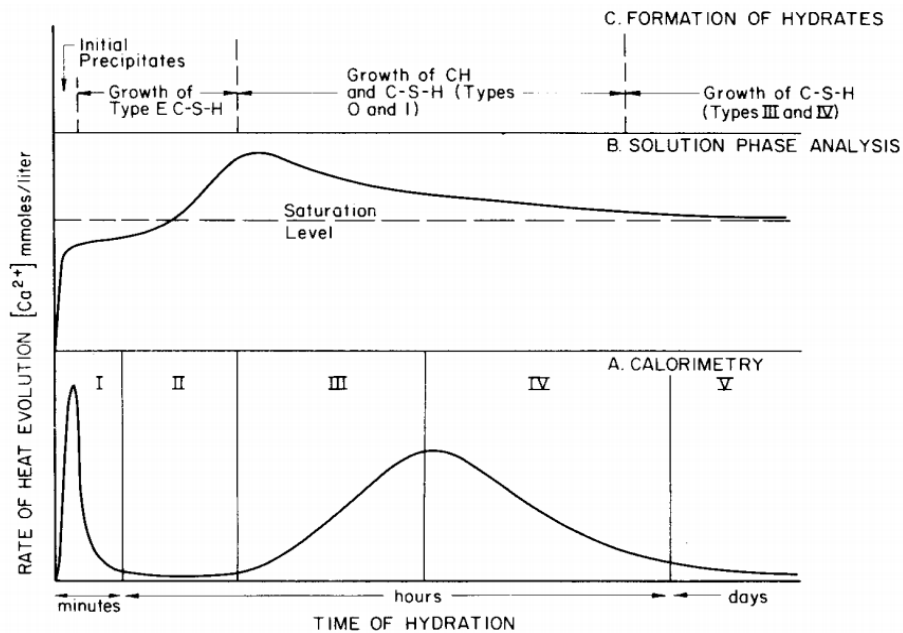
La Figura 15 que se muestra a continuación, es una exploración microscópica electrónica de transmisión (TEM) donde se ven las diferentes morfologías de C-S-H, de acuerdo con Diamond.

En la margen superior izquierda y margen superior derecha de la Figura 15 se observan partículas fibrosas con forma de lanzas y partículas reticulares respectivamente. Estas micropartículas, cuando entran en contacto con superficies como las de un ladrillo que tienen microporos, penetran en ellos con lo que se desarrolla la adherencia y la fricción en la interface.



**Figura 15. Morfología de los diferentes tipos de C-S-H de acuerdo con S. Diamond.**  
 (a).- Tipo I, partículas fibrosas, (b).- Tipo II, reticular (c).- Tipo III, (d).- Tipo IV, morfología interior del producto.

A continuación se muestra en la Figura 16 la reacción del  $C_3S$  (compuesto más importante que comprende entre el 40 – 70% del peso del cemento) en presencia de agua, tomando como referencia la curva calorimétrica, en la cual se puede ver la velocidad de evolución de calor en función del tiempo, ya que el flujo de calor de la muestra es proporcional a la velocidad de reacción.



**Figura 16. Representación esquemática de los cambios que tienen lugar en el sistema  $C_3S$  –agua.**

Durante la etapa I, la cual dura aproximadamente 15 minutos, el  $C_3S$  se disuelve superficialmente para empezar a dar formación al C-S-H cuya densidad depende directamente del contenido de agua y que está relacionado con la porosidad intrínseca que está incluida en la estructura.

La etapa II o de inducción, corresponde al período de “manejabilidad” de la mezcla, es decir, el lapso de tiempo en el que la mezcla permanece húmeda, manejable y sin endurecer. Luego continúan las reacciones de fraguado y endurecimiento (etapa III) como consecuencia del aumento de las reacciones de hidratación y del desarrollo de la microestructura interna; esta etapa inicia a las 2 h y tiene su máximo a las 8 horas aproximadamente, después de lo cual da lugar a la etapa IV en la que la cinética de las reacciones de hidratación sufre una fuerte desaceleración y termina después de 12 a 24 h en el que la desaceleración da paso a la etapa V en la que las reacciones de hidratación se hacen lentas y de bajo calor de hidratación. Esta última etapa va acompañada de una densificación gradual de toda la estructura interna.

En relación con el estudio que se plantea de deshidratación del mortero por parte del ladrillo, debe tenerse en cuenta que cuando el mortero se asienta en el ladrillo, generalmente ya



han terminado las reacciones de la etapa I y el mortero está en plena etapa II o de manejabilidad –algunas veces ya muy avanzada dicha etapa. Por lo tanto, las condiciones de borde en la interface mortero-ladrillo podrán tener influencia en la finalización de la etapa II y principio de la etapa III. Debe sumarse al análisis y consideraciones sobre las condiciones de borde, que no solo se afectan en función de la deshidratación, sino que se establecen diferencia entre esta zona y las demás zonas de la mezcla que conforman la junta de pega. Más adelante se analizarán estos aspectos.

### 1.3.3.6 Prehumedecimiento de los ladrillos, retención de agua de los morteros y condiciones de borde en la interface mortero-ladrillo.

Está establecido y entendido que un mortero que se deshidrate en la vecindad con el ladrillo, pierde agua que puede requerirse para las reacciones de fraguado del cemento; está estudiado y aceptado dentro del conocimiento disponible que un mejor curado de las mezclas de cemento conducen a mejores fraguados, lo que se expresa en resistencias mecánicas más elevadas:

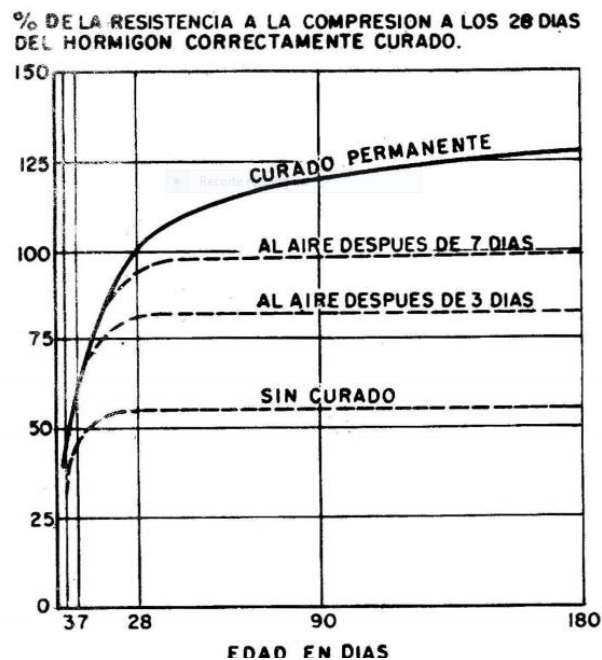
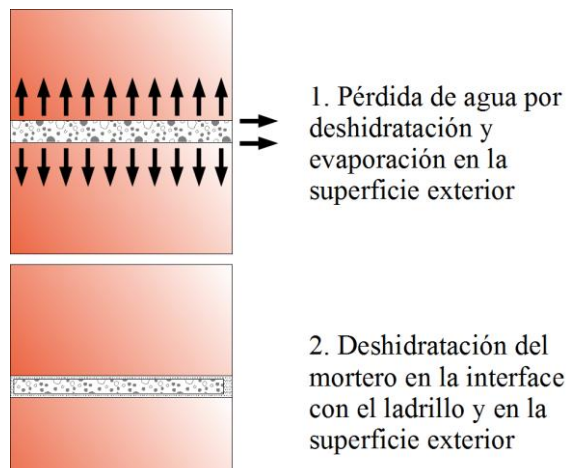


Figura 17 Porcentaje de la resistencia a la compresión a los 28 días del hormigón correctamente curado (Mamlouk & Zaniewski, 2009)

Las razones que explican la mayor resistencia, son obvias: si ésta depende de la formación de los distintos hidratos que constituyen finalmente el grueso de su masa, es necesario que haya agua disponible para la hidratación. Otras razones –ya no obvias- es que la cantidad de agua disponible junto con la composición química y mineralógica del cemento, determinan la cinética de las reacciones químicas, la composición resultante de los minerales que se forman, su estructura cristalina y la microestructura del cemento, todo ello, íntimamente relacionado con la resistencia.

Las razones que explican la pérdida de resistencia en las mezclas con menor contenido de humedad, no solo tienen que ver con las complejidades químicas propias de las etapas de hidratación explicadas en el numeral anterior, sino con razones físicas relacionadas con la contracción volumétrica asociada a la pérdida de agua; a la *tubificación* capilar producida por la salida del agua, que forma tubos o canales por los que fluye hacia el exterior. La pérdida de volumen ocasiona tensiones derivadas de las contracciones diferenciales: por ejemplo, en el caso de los morteros, la vecindad con el ladrillo o con el mortero deshidratado, sufre una contracción por pérdida de agua, mientras que el resto de la masa, que no ha perdido la misma cantidad de agua, conserva un volumen mayor, ocasionando la *fisuración* de la mezcla en la zona de las tensiones.



**Figura 18 Deshidratación del mortero en el muro (Aristizábal Gil)**

La fisuración, junto con la falta de hidratación del cemento, inevitablemente reduce la resistencia final de la mezcla; además, el mortero, fisurado y menos denso, se hace permeable, formando a veces canales francos para el paso del agua Figura 18.



**Figura 19 Permeabilidad de muros de mampostería a través de juntas de pega permeables (Aristizábal Gil)**

Si la causa de la falla descrita reside en la deshidratación excesiva del mortero, la solución obvia provendría de una saturación prolongada de los ladrillos o del uso intenso de retenedores de agua que pudieran ayudar a prevenir la deshidratación; una primera idea que surge siguiendo esta lógica, sería la de saturar los ladrillos, de manera que su red capilar este saturada de agua en el momento de asentarlos; como de hecho proponen las normas ASTM (C-212); pero también podría pensarse que pudiera bastar con humedecer la red capilar perimetral (en la superficie de los ladrillos que entran en contacto con el mortero) de manera que justo en la superficie involucrada se reduzca la TIA. La discusión es interesante por cuanto hay aspectos técnicos y prácticos de la mayor importancia involucrada, por ejemplo:

- Hay estudios clásicos en la literatura técnica (HYSPALIT) que demuestran que la permeabilidad de los muros es inversamente proporcional al tiempo de prehumedecimiento de los ladrillos, lo que invitaría a inclinarse sin más discusión por las recomendaciones ASTM de prehumedecimientos de 24 horas.
- Sin embargo el análisis de los estudios de permeabilidad y prehumedecimiento de los ladrillos concluye que más que el prehumedecimiento el aspecto fundamental está en que los ladrillos, en el momento de asentarse tengan tasas de absorción moderadas (menores de  $0,1 \text{ g/cm}^2/\text{min}$ ), lo que valida las recomendaciones de prehumedecimientos cortos como los de la norma NTC 4205; más aún los ladrillos cuya TIA inicial este por debajo de ese valor ni siquiera requieren prehumedecimiento para lograr muros impermeables.
- También se desprende como conclusión de los estudios de permeabilidad de muros que más allá de la TIA, lo que se requiere en el fondo es que los morteros no se deshidraten hasta el punto de ser los causantes de la permeabilidad, por lo que la solución en el fondo debe ir dirigida a alcanzar esta condición, bien sea mediante prehumedecimiento de los ladrillos o con la adición de retenedores de agua a los morteros o con una y otra forma simultáneamente (Figura 20)



Figura 20 Ambos muretes están contruidos con ladrillos de fachada y estucados por el revés, que son las caras que se observan en la imagen. El murete de la izquierda se pegó sin prehumedecer los ladrillos y sin retenedor de agua, de lo que resultó una alta permeabilidad. El de la derecha, se construyó con un retenedor de agua polimérico incorporado al 2% del peso del cemento, lo que previno la deshidratación del mortero y en consecuencia incrementó la impermeabilidad, que se midió mojando los muros con manguera por la cara exterior (la puesta) después de 28 días.

- El grado de prehumedecimiento es inversamente proporcional al de deshidratación del mortero, que no es en sí mismo malo, a menos que presente consecuencias negativa: una deshidratación moderada permite que el mortero fluya hacia los poros del ladrillo y colmate la red capilar superficial del mismo, lo que hace que tenga haya continuidad entre la junta y el ladrillo a través del mortero que penetró a ladrillo. La consecuencia son menor permeabilidad, mayor adherencia y por ende mayores resistencias a esfuerzos cortantes y de tracción; pero por otro lado, al someterse el muro a cargas compresivas, el efecto *poisson* de la compresión empujará hacia afuera las paredes de los ladrillos adheridas al mortero, con lo que se reducirá la resistencia a la compresión. Por lo tanto, se tiene que una deshidratación moderada beneficia la impermeabilidad y as resistencias a cortante y tracción y va en contravía de la resistencia a la compresión.
- Por otro lado, un prehumedecimiento elevado, a saturación, puede hacer que la superficie del ladrillo se comporte como un vidrio, es decir, que no absorba lo más mínimo del agua del mortero; las normas técnicas previenen acerca de que las superficies vidriadas o esmaltadas ni con absorciones menores al 5%. En este caso, la resistencia a compresión mejorará debido a que la menor adherencia impide el arrastre de las paredes del ladrillo hacia afuera cuando se someta a cargas de compresión, pero se reducirán las resistencias a cortante y a tracción. Esto en teoría; otra posibilidad es que el secamiento gradual del ladrillo permita la posterior deshidratación parcial del mortero antes de que se inicie la etapa de endurecimiento; o que haya un flujo, por osmosis de los compuestos del cemento hacia el agua en los poros de los ladrillos, lo que de todas maneras permita algún grado de adherencia y explica la teóricamente baja permeabilidad de estos muros. Estas inquietudes y otras varias contenidas en este marco teórico van a ser investigadas y analizadas a través del presente trabajo.

## 2. METODOLOGÍA

Se pretende hacer un estudio sobre el comportamiento de los muretes en función del prehumedecimiento de los ladrillos, sumergiéndolos por diferentes tiempos y utilizando tanto mortero con retenedor de agua como mortero sin ningún tipo de aditivo.

Con ladrillos de fábricas representativas locales, se elaborarán muretes que serán ensayados a compresión y a flexión con el fin de determinar la resistencia obtenida versus los diferentes prehumedecimientos del ladrillo y se medirá la permeabilidad de los muretes.

### 2.1 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LADRILLOS Y MORTERO

Para este estudio se tuvieron en cuenta varias ladrilleras del Valle de Aburrá desde San Cristóbal hasta Amaga pasando por Itagüí: Tejar San José (Itagüí), Ladrillera El Noral (Belén), Ladrillera Alcarraza (Itagüí) y Ladrillera San Cristóbal (San Cristóbal), las cuales, para efectos de los ensayos se designan A, B, C y D respectivamente. En el caso de Tejar San José, se tomaron dos muestras diferentes de ladrillos de perforación vertical (estructurales); en las demás, se tomó una muestra de perforación vertical y otra de perforación horizontal.

De esta manera se tienen ladrillos de perforación horizontal y de perforación vertical; de TIA bajas, medias y altas; de resistencias igualmente bajas, medias y altas y de variados procesos de fabricación; así, cada tipo de ladrillo podrá ser analizado individualmente pero al mismo tiempo se tiene la posibilidad de saber si cada tendencia aplica para los ladrillos en general o está condicionada por los parámetros propios de cada tipo.

En este estudio se utilizaron ladrillos catalanes de dimensiones 10x15x30 y ladrillos de 6x12x24 de perforación vertical.

#### Almacenamiento de los ladrillos



Figura 21 Almacenamiento de los ladrillos



**Figura 22 Selección de muestras**

Se transportaron los ladrillos de las diferentes empresas a la planta de Itagüí de la Ladrillera San Cristóbal, lugar donde se recibieron, almacenaron y posteriormente se construyeron los muretes.

En las Figura 21 y Figura 22 se observa cómo se recibieron los ladrillos de cada empresa, en estibas, para luego, por medio de un montacargas, almacenarlos por separado y marcarlos para organizar los ensayos.

El lugar de almacenamiento, permite que las muestras no estén a la intemperie con el fin de garantizar el prehumedecimiento de los ladrillos antes de la construcción de los muretes.

### **2.1.1 Caracterización de los ladrillos**

Para caracterizar los ladrillos se realizaron los siguientes ensayos (como se muestra en la Tabla 5 y en la Tabla 6)

Dónde:

PH: ladrillos de perforación horizontal

PV: ladrillos de perforación vertical

Un: unidades

Para el producto A:

**Tabla 5 Ensayos de caracterización de los ladrillos**

ENSAYOS INDIVIDUALES		PV-ROJOS 10x15x30	PV-BLANCOS 10x15x30	PV-ROJOS 6x12x24
Resistencia a la compresión		5 un	5 un	5 un
Absorción de agua		5 un	5 un	5 un
Tasa Inicial de absorción	Secos			
	1 seg	3 un	3 un	3 un
	3 seg			
	10 seg			
	30 seg			
	1 min			
	3 min			
	5 min			
	10 min	3 un	3 un	3 un
	30 min	3 un	3 un	3 un
	1 h	3 un	3 un	3 un
	2 h	3 un	3 un	3 un
	12 h	3 un	3 un	3 un
	24 h	3 un	3 un	3 un
TOTAL		31 un	31 un	31 un

Para las fábricas B, C y D:

**Tabla 6 Ensayos de caracterización de los ladrillos**

ENSAYOS INDIVIDUALES		PH-ROJOS 10x15x30	PV-ROJOS 10x15x30
Resistencia a la compresión		5 un	5 un
Absorción de agua		5 un	5 un
Tasa Inicial de absorción	Secos		
	1 seg	3 un	3 un
	3 seg		
	10 seg		
	30 seg		
	1 min		
	3 min		
	5 min		
	10 min	3 un	3 un
	30 min	3 un	3 un
	1 h	3 un	3 un
	2 h	3 un	3 un
	12 h	3 un	3 un
	24 h	3 un	3 un
TOTAL		31 un	31 un

## **Ensayo de TIA en el laboratorio**

- **Equipos**

El equipo para desarrollar este ensayo consta de bandejas o contenedores impermeables, de una profundidad inferior a 13,0 mm, una longitud de aproximadamente 200 mm y 150 mm de ancho. Adicionalmente, dos soportes de metal inoxidable conformados por barras de longitud entre 125 y 150 mm.

Se deben proporcionar medios adecuados para mantener constante el nivel de agua después de que se coloque la pieza de ensayo, 3,0 mm por encima del lado superior del soporte. Para la preparación del ensayo se puede utilizar un espécimen promedio previamente sumergido en agua durante un mínimo de 3 horas para que no se consuma el agua del ensayo.

Se requiere también de una balanza con una capacidad superior 3 000 g y sensibilidad de 0,5 g; secadero; cuarto de temperatura constante a 21°C y cronómetro.

- **Procedimiento de ensayo de TIA**

Las piezas se secan y enfrían antes del ensayo. Posteriormente se determina el área de la superficie de la pieza que debe estar en contacto con el agua, Para piezas de perforación vertical el cálculo se refiere al área neta en contacto con el agua.

Para proceder con el ensayo se ajusta la posición de la bandeja y se coloca el espécimen previamente saturado encima de los soportes; se agrega agua hasta un nivel de 3,2 mm por encima de los soportes.

Después se retira el espécimen de referencia y se coloca el espécimen de ensayo teniendo en cuenta que la capacidad de succión se mide sobre la cara que va estar en contacto con el mortero. Se considera como cero el momento en que el espécimen entra en contacto con el agua. Durante el período de contacto (60 segundos) el nivel del agua se mantiene dentro de los límites prescritos, agregando más agua cuando sea necesario; después de los 60s se retira el espécimen, se seca la pieza con un paño húmedo y se determina la masa nuevamente. La limpieza debe hacerse en menos de 10s después de retirada la pieza y el pesaje se debe hacer en los primeros 120s siguientes. (NTC 4017)

### **2.1.2 Caracterización del mortero**

El mortero de pega elegido para la construcción de los muretes tiene la siguiente dosificación: una porción de cemento por cinco de arena, es decir, un mortero 1:5, por ser una medida común en nuestro medio para muros no estructurales. A la mitad de los muretes se les adicionó retenedor de agua (hidroret) al mortero de pega, en una dosificación del 4% del peso del cemento y en la otra mitad, se usó la dosificación descrita sin aditivos.

En la Figura 23 se muestra la preparación del mortero de pega, el cual, se hizo sobre plástico negro con el fin de mantener limpio el lugar de trabajo y evitar la contaminación de



los materiales. A continuación, se mezclan la arena y el cemento en el plástico para luego pasar al mezclero (por cantidades establecidas) donde posteriormente se le adicionaba el agua necesaria.



**Figura 23 Preparación del mortero**

Para la relación agua/cemento (A/C) se le permitió al mampostero adicionar a la mezcla el agua libremente que le permitiera trabajar adecuadamente la mezcla. Sin embargo, en los muretes de 30 minutos y 24 horas que es una condición inusual en las obras ocurrió que la mezcla normal de mortero quedo excesivamente húmeda pues las unidades – ya saturadas – no le roban agua al mortero y como consecuencia el asentamiento es muy alto. Por esta razón en estos muretes se controló la relación A/C, fijándose en un valor de 0,8. La contenido de humedad del ladrillo en el momento de pegarlo modifica la capacidad de deshidratación del mortero, por lo cual es costumbre que los mamposteros reduzcan la proporción de agua en la mezcla para lograr mejor manejabilidad y lograr un mejor ajuste del ladrillo. La Figura 24 evidencia un contenido de agua excesivo en el mortero utilizado, debido a que muchos mamposteros no tienen la costumbre de prehumedecer los ladrillos, o lo hacen solo echando un poco de agua superficial sobre la cara donde va la mezcla y no sumergen las unidades por completo; adicionalmente, los ladrillos prehumedecidos deben escurrirse un poco para eliminar el exceso de agua en la cara donde va el mortero de pega. El exceso de humedad de la mezcla termina por deslizarse sobre el prisma y esta pérdida de mezcla podría ocasionar una disminución en la resistencia del mortero por tubificación.



**Figura 24 Relación A/C alta para el contenido de humedad de los ladrillos**

En obra se acostumbra que la relación A/C le permita al mampostero una mejor manejabilidad de la mezcla en el momento de construcción del muro; por consiguiente se

siguió este mismo procedimiento, con el fin de reflejar las condiciones típicas. Ahora, como la relación A/C es una variable que puede influir sustancialmente en los resultados que se pretenden obtener, en la construcción de los muretes se han medido los valores correspondientes para aquellos muretes en los que se prehumedecieron los ladrillos por un lapso de tiempo superior a los tres minutos.



**Figura 25 Cilindros de mortero**

Para cada día de construcción de muretes se tomaron seis muestras de cilindros de mortero, cuyas probetas tienen las siguientes dimensiones:  $\varnothing = 3"$  y  $H = 6"$ ; tal como se aprecia en la Figura 25.

Dónde:

$\varnothing$ : diámetro de la probeta de muestra

H: altura de la probeta de muestra

Al día siguiente, los cilindros se desencofraron y posteriormente se sumergieron en agua hasta el momento en que fueron fallados (NTC 3546).



**Figura 26 Desencofrado de los cilindros**

Los cilindros se fallaron a compresión a los 3, 7 ó 14 y 28 días de fraguado.

Las muestras de mortero se tomaron tanto para los morteros sin aditivos como para los morteros con aditivos y además se tomaron muestras de los morteros utilizados en los muretes con diferentes tiempos de prehumedecimiento del ladrillo. Así se determinó la resistencia a compresión de cada muestra, información fundamental para entender las resistencias de los muretes.

## **2.2 PLANEACIÓN Y DESARROLLO DE LOS ENSAYOS**

Inicialmente se planeó este estudio en la Escuela de Ingeniería con el fin de aprovechar sus laboratorios, personal y experiencia. No obstante los equipos no resultaron aptos para los ensayos de muretes ni se contaba con personal técnico capacitado, razones por las que hubo que acudir a terceros que facilitaron el espacio físico y a un laboratorio comercial de la ciudad. Lo anterior condujo a una excesiva manipulación de los muretes que junto con el movimiento brusco de los camiones, ocasionó el daño de algunas muestras que no lograron ser falladas, lo cual se hubiera evitado o reducido si el lugar de elaboración de los muretes no estuviera tan distante del lugar donde se efectuaron los ensayos. Mientras menor sea la manipulación de las muestras, los resultados obtenidos serán más confiables.



**Figura 27 Sitio de trabajo**

Se construyeron los muretes en la Ladrillera San Cristóbal (Planta Itagüí); inicialmente se elaboraron los prismas sin prehumedecimiento y los de 3 minutos de prehumedecimiento, tanto con morteros sin retenedor de agua como morteros con aditivo de todas las ladrilleras participantes en el estudio. Un mes después, se construyeron el resto de muretes con ladrillos prehumedecidos 30 minutos, y 24 horas, tal como se muestra en la Figura 28.



**Figura 28 Muretes en el sitio de su construcción**

En la Figura 29 se muestra la construcción del prisma. Los mamposteros usaron una varilla de ancho de 12 mm para garantizar que la junta de pega fuera uniforme y todos los prismas conservaran la misma altura.



**Figura 29 Construcción de muretes**



Para garantizar el prehumedecimiento adecuado de las unidades de mampostería, se utilizaron varios recipientes llenos de agua limpia de tal manera que cubrieran totalmente las piezas a utilizar, según se muestra en la Figura 30.



**Figura 30 Inmersión de los ladrillos**

Terminada la fabricación de los muretes, se procedió a trasladarlos al laboratorio donde fueron fallados (Laboratorio INGECONCRETO Ltda.) Figura 31 y Figura 32.



**Figura 31 Transporte manual de muretes**

Para el transporte de los prismas, inicialmente se hizo manualmente desde el lugar de trabajo hasta el camión teniendo cuidado de no esforzarlos a tracción durante este proceso (ver Figura 31); posteriormente se ubicaron en un camión ajustándolos unos a otros con el fin de evitar daños durante su transporte desde la ladrillera ubicada en la Cra. 42 No. 75 - 83 (Itagüí), hasta Laboratorio INGECONCRETO ubicado en la Calle 6 No. 43E6 (Barrio el Poblado, Medellín). Se transportaron en horas en las cuales no se presentará mucho flujo de tráfico para evitar maniobras que pudieran dañar las piezas.



**Figura 32 Transporte de muretes al laboratorio**

Se planearon en total para todas las muestras y ladrilleras, 192 ensayos de compresión, 192 de flexión y 128 de permeabilidad. Además, por cada ladrillera, 20 ensayos de resistencia de unidades sueltas, diez para unidades de PH y diez para unidades de PV y diez de absorción, cinco para unidades de PH y cinco para unidades de PV; en TIA, 16 ensayos por ladrillera: ocho para ladrillos de perforación horizontal (PH) y ocho para ladrillos de perforación vertical (PV) por cada ladrillera.

En la Tabla 7 se muestran los muretes con las especificaciones determinadas para cada ladrillera y adicionalmente en colores aparecen los muretes que se construyeron; en la Tabla 8 está la relación de las fechas en las que se construyeron los muretes. Los muretes para flexión llevan tres ladrillos cada uno ( tres hiladas de altura) mientras que los muretes para ensayos de compresión llevan dos ladrillos cada uno ( dos hiladas de altura).

**Tabla 7 Ensayos y condiciones para los muretes**

VARIABLES	PH		PV		Ladrillos	
	Compr.	Flexión	Compr.	Flexión	PH	PV
	Muretes	Muretes	Muretes	Muretes		
Sin prehum. y mortero sin aditivos	3	3	3	3	15	15
Sin prehum. y mortero con retenedor de agua	3	3	3	3	15	15
Prehum. de 3 minutos y mortero sin aditivos	3	3	3	3	15	15
Prehum. de 3 minutos y mortero con retenedor de agua	3	3	3	3	15	15
Prehum. de 30 minutos y mortero sin aditivos	3	3	3	3	15	15
Prehum. de 30 minutos y mortero con retenedor de agua	3	3	3	3	15	15
Prehum. de 24 horas y mortero sin aditivos	3	3	3	3	15	15
Prehum. de 24 horas y mortero con retenedor de agua	3	3	3	3	15	15

Los días en que fueron elaborados son los siguientes:

**Tabla 8 Relación de fechas en las que se construyeron los muretes**

	muretes hechos desde las 10:00 hasta las 12:00	lunes 18/03/2013
	muretes hechos desde las 13:00 hasta las 15:00	
	muretes hechos desde las 15:00 hasta las 17:00	
	muretes hechos desde las 7:00 hasta las 10:00	Martes 19/03/2013
	muretes hechos desde las 10:00 hasta las 12:00	
	muretes hechos desde las 13:00 hasta las 15:00	
	muretes hechos desde las 15:00 hasta las 17:00	
	muretes hechos desde las 7:00 hasta las 10:00	Miércoles 20/03/2013
	muretes hechos desde las 10:00 hasta las 12:00	
	muretes hechos desde las 13:00 hasta las 15:00	
	muretes hechos desde las 15:00 hasta las 17:00	
	muretes hechos desde las 7:00 hasta las 12:00	Martes 09/04/2013
	muretes hechos desde las 13:00 hasta las 17:00	
	muretes hechos desde las 7:00 hasta las 12:00	Miércoles 10/04/2013
	muretes hechos desde las 13:00 hasta las 17:00	
	muretes hechos desde las 7:00 hasta las 12:00	Jueves 11/04/2013

Inmediatamente después de terminado un murete se debe esperar 28 días para su fallo. Dichos muretes se fallaron a compresión y a flexión como lo indican las tablas anteriores.

Las máquinas utilizadas para estos ensayos fueron: \* Máquina para ensayos Universal (Tinius Olsen, modelo N.P, capacidad 500,0 kN) \* Máquina para ensayos a compresión (Suzpecar-Dir, modelo CMH-120, capacidad 1000,0 kN) (ver Figura 33 y Figura 35)

La calibración de las máquinas mencionadas se puede observar en el Anexo que aparece al final de este estudio.



**Figura 33 Máquina para fallar los prismas a compresión**

Antes de ejecutar la prueba a compresión de los muretes, se debe nivelar el prisma con un mortero de azufre con la finalidad de que la carga se aplique uniformemente en la cara del prisma. En la Figura 34 se muestran los muretes nivelados para el posterior fallo.



**Figura 34 Capa de nivelación los muretes**



**Figura 35 Máquina para fallar los prismas a flexión**

Para el ensayo de permeabilidad, se tomó un murete de cada una de las condiciones, al cual, posteriormente, se le hizo una prueba sencilla para medir el grado de penetración del agua utilizando un tubo de Karsten (tubo RILEM) que consiste en una probeta de vidrio que se adhiere a la superficie del material tratado, se llena de agua y se mide la velocidad con la que penetra en el material, tal como se observa en la Figura 36 (véase el numeral 1.3.2).





**Figura 36 Ensayo de permeabilidad (Tubo de Karsten)**

### **2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO EN LOS MURETES**

En el laboratorio se hicieron los ensayos de compresión, flexión, y permeabilidad a los muretes y de TIA, absorción, compresión a los ladrillos; además se fallaron a compresión los cilindros de mortero. Debido a que varios muretes se dañaron durante el transporte se efectuó un número de ensayos inferior al planeado: 170 ensayos de compresión, 153 ensayos de flexión y 128 ensayos de permeabilidad con el fin de mostrar el desempeño de los muretes ante estos esfuerzos y ante la intemperie.



**Figura 37 Muretes fallados a compresión**



**Figura 38 Murete fallado a flexión**

### 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS LADRILLOS Y DEL MORTERO

##### 3.1.1 Caracterización de los ladrillos

Tabla 9 TIA de los Ladrillos Horizontales

Tiempo de Inmersión	Ladrillera D		Ladrillera C		Ladrillera B	
	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio
	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)
1 s	0,08742	0,08985	0,18501	0,16388	0,08744	0,08333
	0,09196		0,15849		0,07331	
	0,09018		0,14813		0,08923	
3 s	0,09133	0,10241	0,20265	0,17365	0,08107	0,05830
	0,11974		0,15192		0,03233	
	0,09614		0,16639		0,06150	
10 s	0,07677	0,06945	0,15716	0,14060	0,06850	0,06202
	0,06115		0,12915		0,06467	
	0,07044		0,13550		0,05288	
30 s	0,05528	0,04821	0,10429	0,08622	0,06110	0,05709
	0,04129		0,04995		0,05270	
	0,04807		0,10442		0,05749	
1 min	0,05988	0,05809	0,07407	0,05823	0,07637	0,07246
	0,05729		0,03674		0,05030	
	0,05709		0,06390		0,09069	
3 min	0,01930	0,02080	0,02283	0,02687	0,03535	0,02821
	0,01923		0,02986		0,02764	
	0,02387		0,02793		0,02163	
5 min	0,01694	0,01529	0,00241	0,00685	0,01210	0,01375
	0,00241		0,00609		0,01463	
	0,02653		0,01206		0,01452	

**Tabla 9 TIA de los Ladrillos Horizontales**

	Ladrillera D		Ladrillera C		Ladrillera B	
Tiempo de Inmersión	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio
	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)	(g/cm <sup>2</sup> /min)
10 min	0,01322	0,02058	0,00122	0,00243	0,02395	0,02556
	0,02681		0,00484		0,02148	
	0,02171		0,00122		0,03125	
30 min	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000	
1 h	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00081
	0,00000		0,00000		0,00242	
	0,00000		0,00000		0,00000	
2 h	0,00120	0,00080	0,00000	0,00000	0,00000	0,00041
	0,00000		0,00000		0,00122	
	0,00120		0,00000		0,00000	
12 h	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000	
24 h	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000	

En la Tabla 9 y en la Figura 39 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de Tasa Inicial de Absorción para los ladrillos de perforación horizontal de las diferentes ladrilleras; no se cuenta con ladrillos de perforación horizontal de la ladrillera A.

En la Figura 39 se observa claramente, que a partir de los 30 minutos de inmersión, el ladrillo ya no absorbe más agua; por lo tanto la TIA para tiempos de inmersión superiores a los 30 minutos es igual a cero. Quiere decir que para efectos prácticos y desde el punto de vista del control de la TIA dentro de una obra de construcción es innecesario pre-humedecer las piezas por un tiempo superior a los 30 minutos. También se observa que para reducir la TIA a valores inferiores a  $0,10 \text{ g/cm}^2/\text{min}$  basta con tiempos de inmersión parcial de 10s.

Las piezas de las ladrilleras B y D utilizadas en este ensayo tienen una TIA inferior a  $0,10 \text{ g/cm}^2/\text{min}$  lo cual significa que pueden asentarse aún sin prehumedecimiento (ver Tabla 1)

La Tabla 10 y la Figura 40 contienen los resultados del mismo ensayo (TIA) pero de ladrillos de perforación vertical; también en estos se presentan comportamientos similares a las piezas de perforación horizontal.

**Tabla 10 TIA de los Ladrillos Verticales**

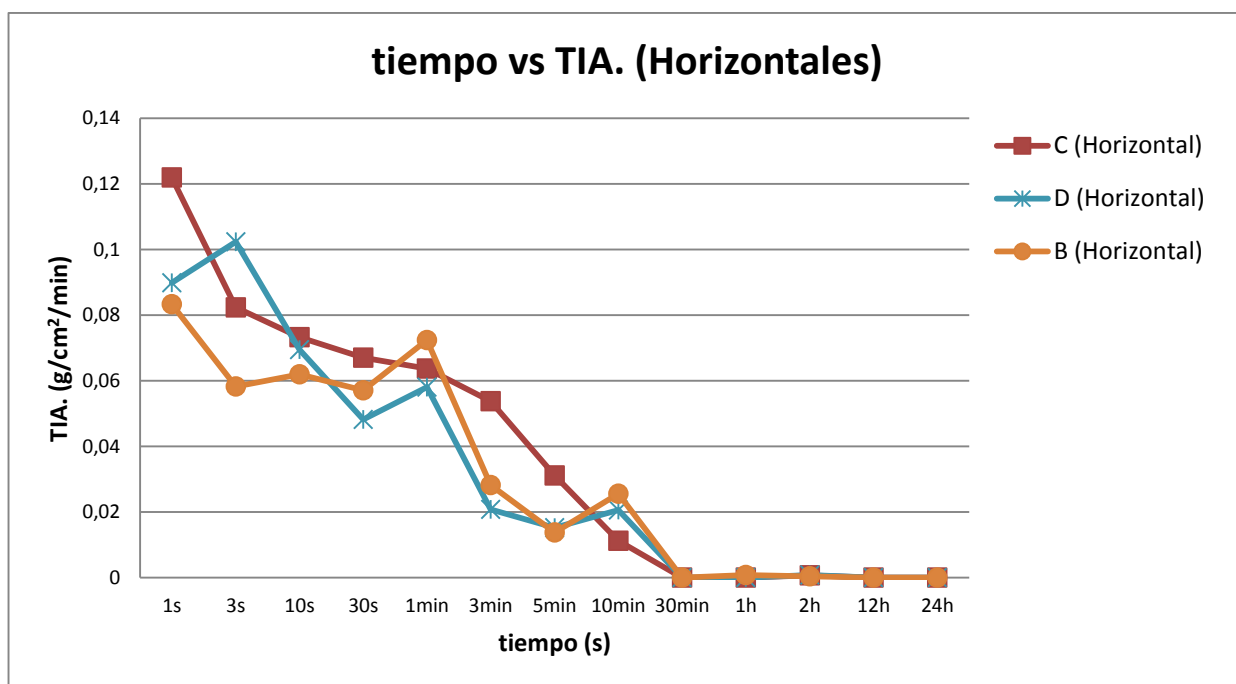
	Ladrillera D		Ladrillera C		Ladrillera B		Ladrillera A (Rojos 10x15x30)		Ladrillera A (Rojos 6x12x25)		Ladrillera A (Blancos 6x12x25)	
Tiempo de Inmersión	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio
	(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)	
1 s	0,12852	0,10670	0,31592	0,31312	0,11181	0,12195	0,12742	0,13599	0,12127	0,11609	0,06001	0,05927
	0,15751		0,29490		0,13026		0,15739		0,10738		0,05415	
	0,03406		0,32855		0,12378		0,12317		0,11964		0,06367	
3 s	0,13572	0,14366	0,27667	0,27023	0,08241	0,08236	0,11056	0,12494	0,12070	0,11812	0,04152	0,04553
	0,13849		0,24460		0,08376		0,13600		0,13908		0,04377	
	0,15677		0,28942		0,08091		0,12825		0,09458		0,05130	
10 s	0,11036	0,11922	0,22596	0,21105	0,07028	0,07333	0,11690	0,10311	0,08117	0,09931	0,04074	0,04648
	0,13184		0,18172		0,07900		0,10341		0,10642		0,04798	
	0,11545		0,22547		0,07071		0,08902		0,11034		0,05074	
30 s	0,09009	0,09055	0,12040	0,10839	0,07462	0,06703	0,05412	0,06738	0,07607	0,08548	0,01309	0,02492
	0,08787		0,11130		0,06518		0,07208		0,08351		0,02305	
	0,09368		0,09348		0,06129		0,07595		0,09685		0,03863	
1 min	0,06374	0,06622	0,12225	0,13031	0,05774	0,06377	0,06569	0,07483	0,04952	0,05746	0,03571	0,04720
	0,06577		0,12336		0,06399		0,08665		0,05614		0,04445	
	0,06914		0,14532		0,06957		0,07214		0,06673		0,06143	

**Tabla 10 TIA de los Ladrillos Verticales**

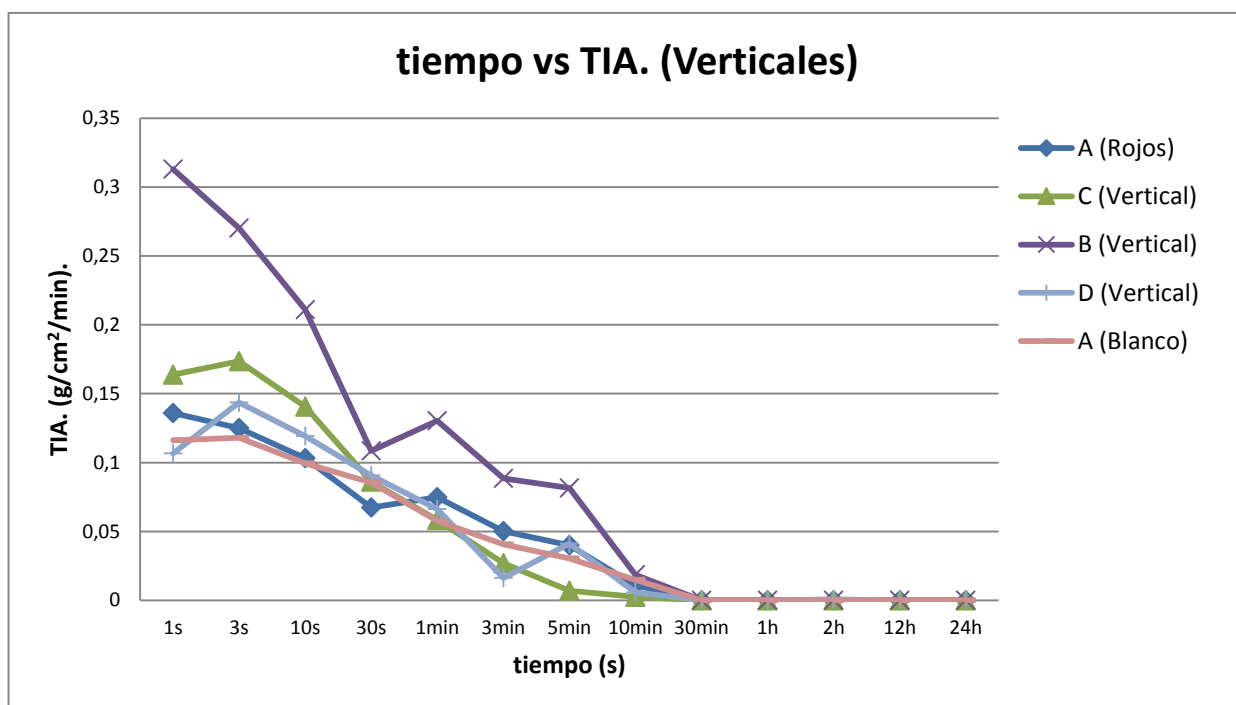
	Ladrillera D		Ladrillera C		Ladrillera B		Ladrillera A (Rojos 10x15x30)		Ladrillera A (Rojos 6x12x25)		Ladrillera A (Blancos 6x12x25)	
Tiempo de Inmersión	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio
	(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)	
3 min	0,04477	0,05006	0,07369	0,08854	0,04362	0,05380	0,01496	0,01627	0,04036	0,04056	0,08772	0,07061
	0,04581		0,10374		0,05352		0,01672		0,04436		0,06015	
	0,05961		0,08818		0,06426		0,01714		0,03696		0,06396	
5 min	0,03023	0,03991	0,08317	0,08153	0,01777	0,03115	0,04309	0,04105	0,02149	0,03030	0,01557	0,02392
	0,03965		0,08443		0,04397		0,03274		0,03383		0,03766	
	0,04985		0,07699		0,03171		0,04732		0,03560		0,01854	
10 min	0,00000	0,01092	0,02288	0,01861	0,01128	0,01124	0,00000	0,00575	0,01459	0,01483	0,01921	0,02554
	0,00923		0,01622		0,01356		0,00422		0,01182		0,03137	
	0,02354		0,01671		0,00887		0,01304		0,01809		0,02605	
30 min	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	
1 h	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	

**Tabla 10 TIA de los Ladrillos Verticales**

	Ladrillera D		Ladrillera C		Ladrillera B		Ladrillera A (Rojos 10x15x30)		Ladrillera A (Rojos 6x12x25)		Ladrillera A (Blancos 6x12x25)	
Tiempo de Inmersión	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio	TIA	Promedio
	(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)		(g/cm <sup>2</sup> /min)	
2 h	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00074	0,00000	0,00071	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00223		0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00214		0,00000		0,00000	
12 h	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	
24 h	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	
	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000	



**Figura 39 TIA en los ladrillos horizontales**



**Figura 40 TIA en los ladrillos verticales**



**Tabla 11 Resistencia a compresión de los ladrillos horizontales**

a (mm)	h (mm)	L (mm)	ep	et	AREA BRUTA (cm2)	AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	LADRILLERA
142	104	293	15	12	416	416	228	5,5	D
140	102	290	14	12	406	406	241,6	6	D
141	102	293	14	12	413	413	218,9	5,3	D
142	102	293	14	12	416	416	240	5,8	D
140	101	295	14	12	413	413	230,2	5,6	D
143	92	291	13	11	416	416	113,5	2,7	C
141	92	291	14	11	410	410	126,4	3,1	C
140	91	293	14	11	410	410	131,7	3,2	C
141	90	294	13	11	415	415	126	3	C
141	90	292	13	11	412	412	109,6	2,7	C
140	88	292	13	12	409	409	256,1	6,3	B
141	87	290	14	12	409	409	270,1	6,6	B
140	88	291	13	12	407	407	231,5	5,7	B
141	88	292	13	12	412	412	240,1	5,8	B
140	89	290	13	12	406	406	260,2	6,4	B

**Tabla 12 Resistencia a compresión de los ladrillos verticales**

a (mm)	h (mm)	L (mm)	ep	et	AREA BRUTA (cm2)	AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	LADRILLERA
142	103	293	43	14	416	223	688,1	30,9	D
142	101	294	42	14	417	220	717	32,6	D
140	102	292	42	14	409	217	664,3	30,6	D
141	100	290	43	14	409	213	720,6	33,8	D
141	102	289	42	14	407	213	693	32,5	D
144	88	289	25	23	416	239	422,9	17,7	C
142	88	291	25	22	413	234	469,8	20,1	C
141	89	292	25	22	412	236	438	18,6	C
141	87	290	26	22	409	228	469	20,6	C
141	88	292	26	22	412	235	419,1	17,8	C
142	90	294	22	22	417	224	678,6	30,3	B
140	90	293	22	22	410	217	650,1	30	B

**Tabla 12 Resistencia a compresión de los ladrillos verticales**

a (mm)	h (mm)	L (mm)	ep	et	AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	LADRILLERA
141	91	291	22	22	410	218	649,3	29,8	B
140	89	292	22	22	409	214	669,6	31,3	B
143	91	293	22	22	419	228	680,6	29,8	B
112	59	234	21	14	262	150	503,3	33,6	A(B)
112	60	233	21	14	261	149	519,9	34,9	A(B)
112	58	232	21	14	260	146	500,6	34,3	A(B)
113	59	235	21	14	266	153	531,9	34,8	A(B)
112	59	234	21	13	262	151	519,9	34,4	A(B)
115	59	237	22	16	273	156	551,2	35,3	A(R)
116	61	237	22	15	275	161	579,7	36	A(R)
116	59	236	22	16	274	157	537	34,2	A(R)
116	58	235	22	15	273	152	568,6	37,4	A(R)
115	59	233	22	15	268	150	590,2	39,3	A(R)

Las Tabla 11 y Tabla 12 muestran las resistencias a compresión de los ladrillos utilizados para la elaboración de los muretes. Se observa que para los ladrillos de perforación horizontal los de la ladrillera C son de menor resistencia, lo que coincide además con la mayor TIA.

En la Tabla 12 se puede observar que la resistencias de las piezas de la ladrillera A son mejores que las demás, seguidas de cerca por las ladrilleras D y B de mayor a menor, mientras que las de la ladrillera C están muy por debajo de las anteriores en un 48% con respecto a los ladrillos de color de la ladrillera A.

Estas piezas cumplen con la Norma Técnica para ladrillos horizontales no estructurales. Además los ladrillos de perforación vertical cumplen holgadamente con la resistencia para ladrillos estructurales.

### 3.1.2 Caracterización del mortero

**Tabla 13 Cilindros de mortero con aditivo**

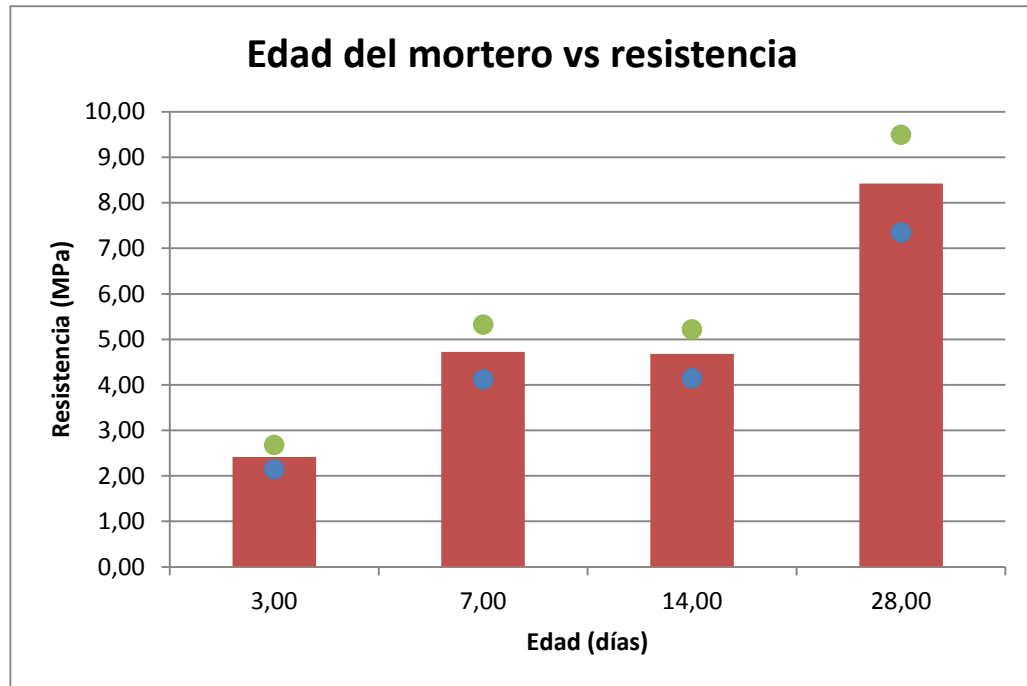
	Con Retenedor		Promedio (MPa)
Mezcla para muretes de 0 min de prehumedecimiento	3	2,8	2,6
	3	2,3	
	7	4,8	4,5
	7	4,2	
	28	8,4	8,6
	28	8,8	
Mezcla para muretes de 30 min de prehumedecimiento	7	4,0	3,8
	7	3,5	
	14	5,5	5,3
	14	5,1	
	28	7,5	7,8
	28	8,0	
Mezcla para muretes de 24 h de prehumedecimiento	7	5,3	5,4
	7	5,5	
	14	4,0	4,2
	14	4,4	
	28	8,4	8,2
	28	8,0	

**Tabla 14 Cilindros de mortero sin aditivo**

	Sin Retenedor		Promedio (MPa)
Mezcla para muretes de 3 min de prehumedecimiento	3	2,2	2,2
	3	2,2	
	7	4,8	4,9
	7	4,9	
	28	10,9	10,5
	28	10,1	
Mezcla para muretes de 30 min y 24 h de prehumedecimiento de Ladrilleras D y C (PH)	3	2,7	2,5
	3	2,3	
	7	5,2	4,8
	7	4,4	
	28	7,2	7,5
	28	7,8	
Mezcla para muretes de 24 h de prehumedecimiento	7	4,8	5,1
	7	5,3	
	14	4,6	4,6
	14	4,5	
	28	7,8	8,0
	28	8,2	

Hay una gran constancia en la preparación de la mezcla, ya que las resistencias a los 28 días de fallo osciló entre valores de 7,5 MPa y 8,6 MPa; exceptuando la mezcla elaborada para los muretes de 3 minutos de prehumedecimiento sin aditivo, cuya resistencia fue de 10,5 MPa.

Adicionalmente, en la Tabla 13 y la Tabla 14, siempre fueron mejores las resistencias tempranas de los morteros con retenedor de agua que los de sin aditivos y además el retenedor de agua no altera la resistencia final de los cilindros.



**Figura 41 Resistencia del mortero vs edad**

En la Figura 41 se observa que las resistencias de los cilindros de mortero a los 7 y 14 días de fraguado son similares y equivalen a aproximadamente el 50% de la resistencia final alcanzada a los 28 días de fraguado.

## 3.2 LADRILLERA A

### 3.2.1 Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera A

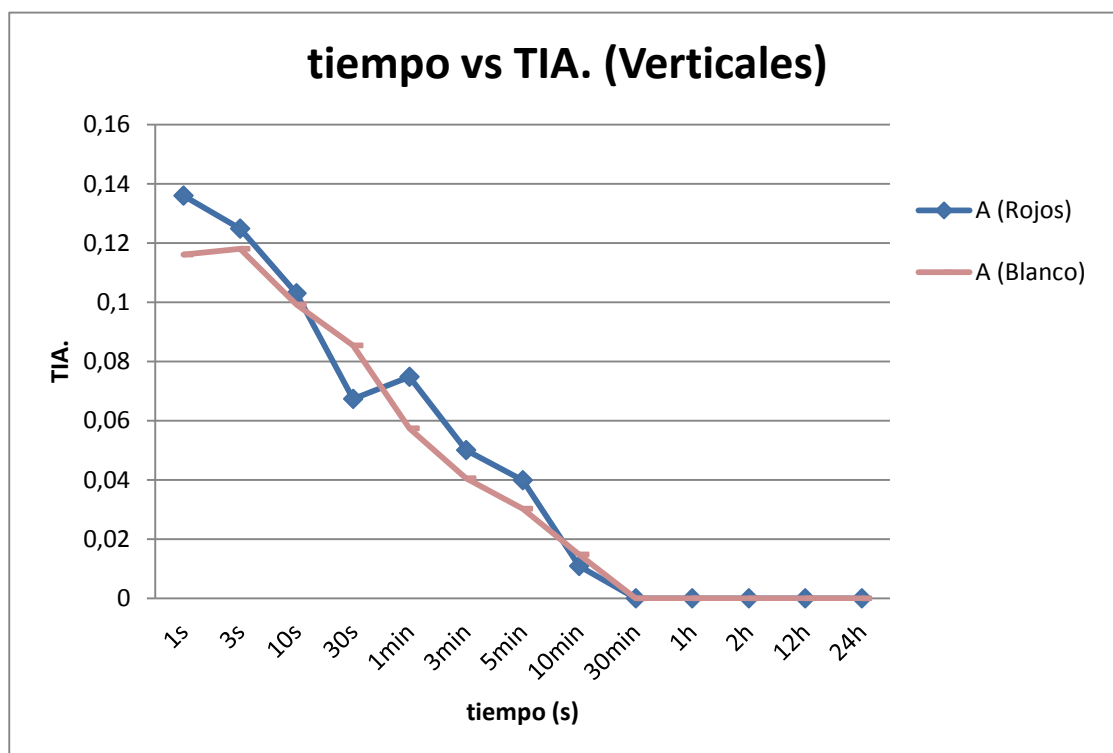


Figura 42 T.I.A en los ladrillos de la Ladrillera A

### 3.2.2 Absorción de la Ladrillera A

Tabla 15 Absorción Ladrillera A

LADRILLERA A (ROJOS)		LADRILLERA A (BLANCOS)	
Unidades	Aa %	Unidades	Aa %
1	11,70%	1	11,90%
2	12,70%	2	12,30%
3	12,50%	3	9,80%
4	10,60%	4	8,70%
5	12,20%	5	7,90%
Promedio	11,94%	Promedio	10,12%
TIA seco	13,60%	TIA seco	11,61%
Aa/TIA	87,79%	Aa/TIA	87,17%

### 3.2.3 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera A

**Tabla 16 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera A**

a (mm)	h (mm)	L (mm)	ep	et	AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	LADRILLERA
112	59	234	21	14	262	150	503,3	33,6	A(B)
112	60	233	21	14	261	149	519,9	34,9	A(B)
112	58	232	21	14	260	146	500,6	34,3	A(B)
113	59	235	21	14	266	153	531,9	34,8	A(B)
112	59	234	21	13	262	151	519,9	34,4	A(B)
115	59	237	22	16	273	156	551,2	35,3	A(R)
116	61	237	22	15	275	161	579,7	36	A(R)
116	59	236	22	16	274	157	537	34,2	A(R)
116	58	235	22	15	273	152	568,6	37,4	A(R)
115	59	233	22	15	268	150	590,2	39,3	A(R)

### 3.2.4 Resistencia a compresión de los muretes de la ladrillera A

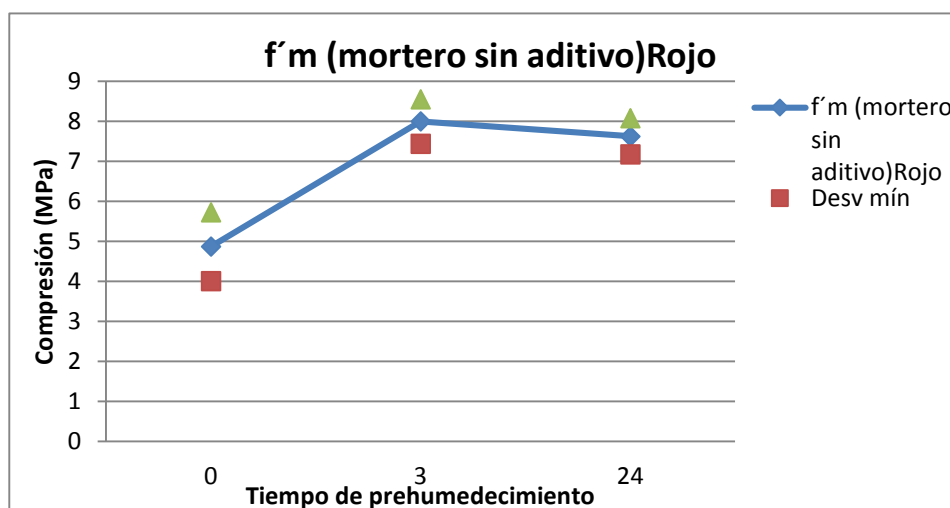
En la Figura 43 y la Figura 44 se muestra la resistencia a compresión de los muretes construidos con ladrillos de perforación horizontal de la ladrillera A (rojos).

**Tabla 17 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera A (Rojos)**

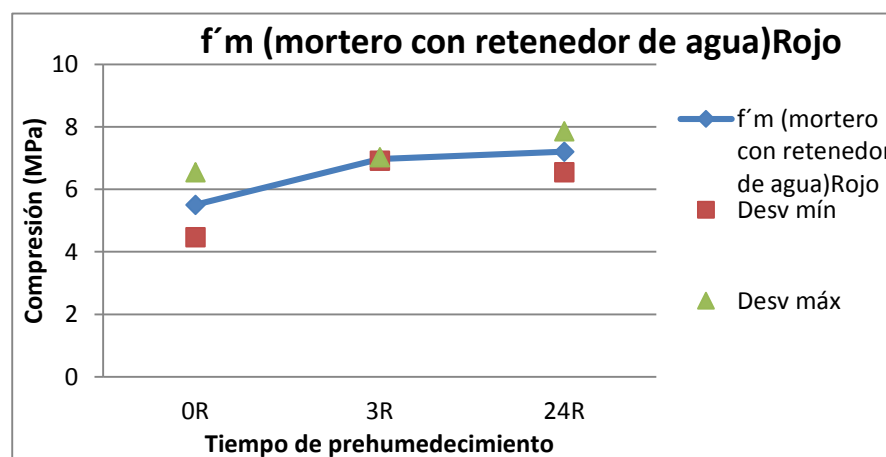
AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
220	103,3	4,7	4,87	0
223	91,7	4,1		
209	120,7	5,8		
215	93,2	4,3	5,5	0R
209	126,9	6,1		
212	128,8	6,1		
212	157,8	7,4	8	3
217	175,5	8,1		
206	175,6	8,5		
216	150,7	7	6,97	3R
219	150,1	6,9		
220	154,6	7		

**Tabla 18 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera A (Rojos)**

AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
240	181,3	7,6	7,63	24
244	196,7	8,1		
244	175,9	7,2		
233	170,3	7,3	7,2	24R
235	182,7	7,8		
233	150,3	6,5		



**Figura 43 Compresión muretes verticales ladrillera A-Rojos**

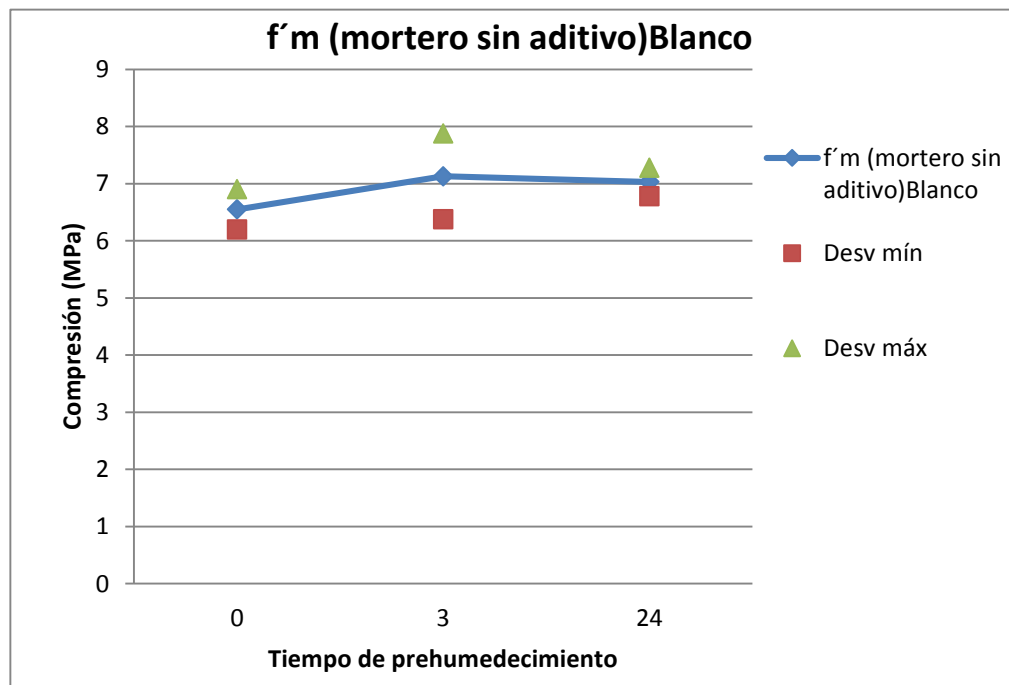


**Figura 44 Compresión muretes verticales ladrillera A-Rojos (Retenedor)**

En la Figura 45 y la Figura 46 se muestra la resistencia a compresión de los muretes construidos con ladrillos de perforación horizontal de la ladrillera A (blancos).

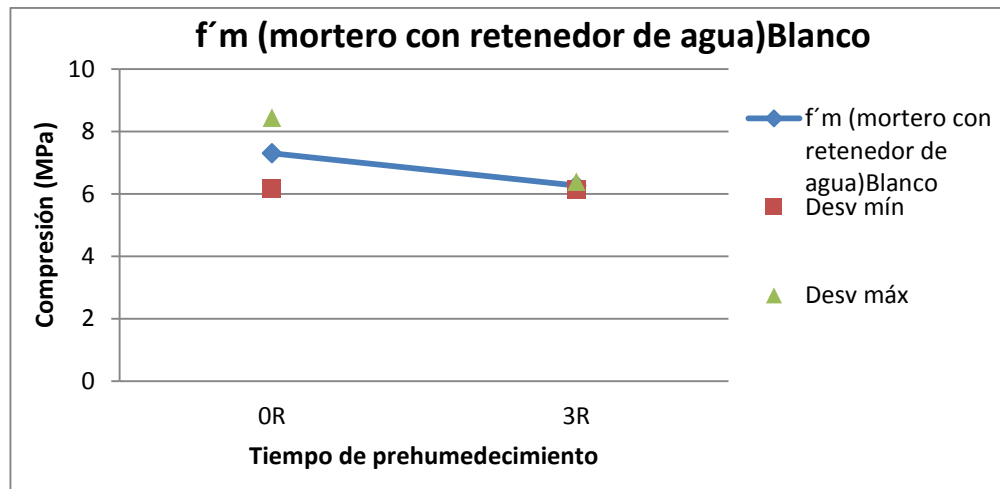
**Tabla 19 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera A (Blancos)**

AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
208	131,6	6,3	6,55	0
210	142,7	6,8		
202	163,4	8,1	7,3	0R
206	123,9	6		
206	161,6	7,8		
207	132,3	6,4	7,13	3
202	158,6	7,9		
209	147,9	7,1		
203	126,8	6,2	6,27	3R
201	124,4	6,2		
195	125,4	6,4		
235	158,8	6,8	7,03	24
232	170,1	7,3		
232	161,4	7		



**Figura 45 Compresión muretes verticales ladrillera A-Blancos**





**Figura 46 Compresión muretes verticales ladrillera A-Blancos (Retenedor)**

La resistencia en los muretes elaborados con ladrillos sin prehumedecimiento construidos con retenedor de agua es mayor a la de los muretes de la misma condición fabricados con juntas de mortero sin aditivo. Esta tendencia se presenta en los muretes fabricados con ladrillos de perforación vertical y muestra una favorable consecuencia en los muretes hechos con ladrillos sin prehumedecimiento.

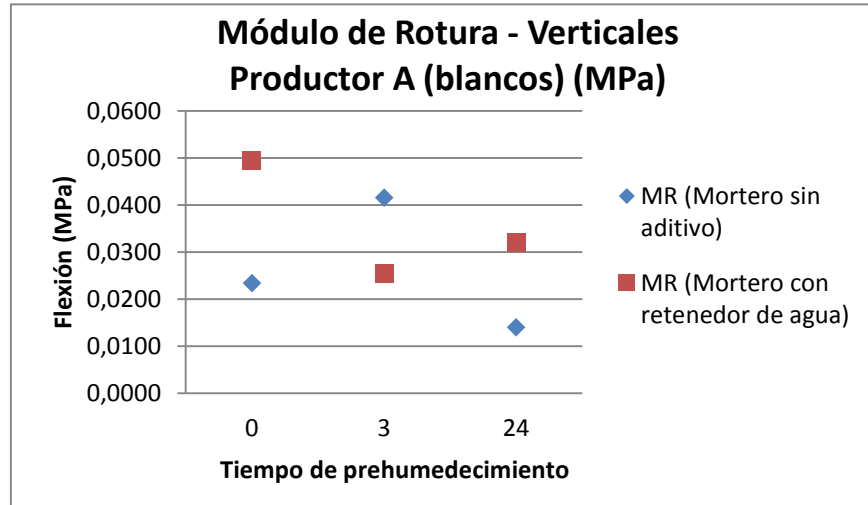
### 3.2.5 Resistencia a flexión de los muretes de la ladrillera A

**Tabla 20 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera A (Blancos)**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
137	294	287	275	121	600	0,03	0,0234	550,00	0
138	295	288	275	121	500	0,02			
138	292	281	272	119	1000	0,04	0,0494	1166,67	OR
139	293	283	270	119	1200	0,05			
138	292	284	273	119	1300	0,06	0,0416	1033,33	3
139	296	290	268	120	900	0,04			
138	295	291	269	120	1200	0,05			
138	295	291	270	120	1000	0,04	0,0255	600,00	3R
138	294	281	273	120	600	0,03			
139	294	281	272	120	700	0,03			
138	295	282	273	120	500	0,02	0,0140	366,67	24
140	295	287	264	121	300	0,01			
140	296	287	265	121	500	0,02			
140	295	288	264	121	300	0,01			

**Tabla 21 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera A (Blancos)**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
137	292	286	278	121	800	0,04	0,0321	733,33	24R
138	291	285	279	121	700	0,03			
137	292	286	278	121	700	0,03			



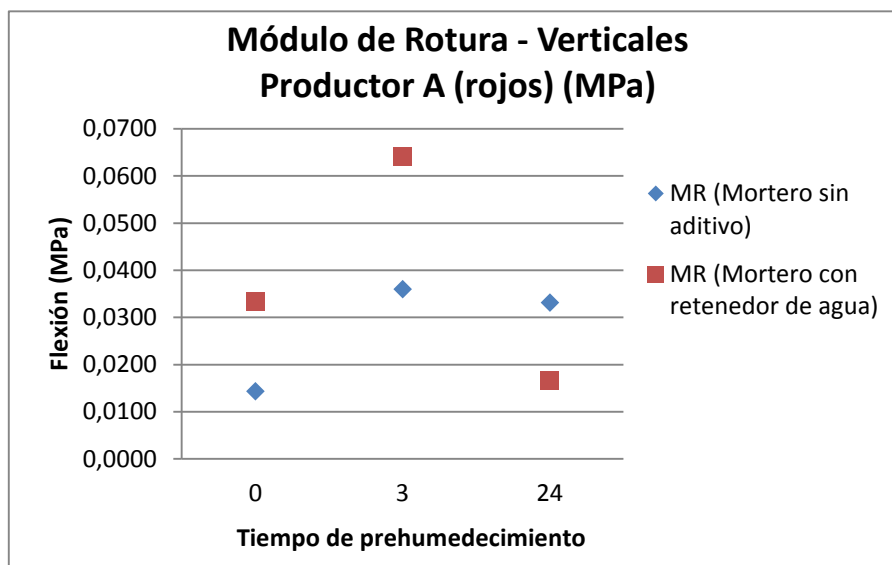
**Figura 47 Flexión muretes verticales ladrillera A-Blancos**

**Tabla 22 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera A (Rojos)**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
140	291	287	274	120	400	0,02	0,0144	350,00	0
140	292	289	275	120	300	0,01			
140	295	292	278	118	900	0,04	0,0333	800,00	0R
141	296	292	278	118	700	0,03			
118	306	296	280	121	600	0,03	0,0360	633,33	3
119	302	295	279	121	800	0,05			
120	302	296	280	121	500	0,03			
141	297	292	276	121	1600	0,06	0,0642	1600,00	3R
140	295	292	275	121	1500	0,06			
141	296	291	275	121	1700	0,07			
141	298	291	288	121	900	0,04	0,0331	766,67	24
141	299	291	289	121	700	0,03			
142	299	290	288	121	700	0,03			

**Tabla 23 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera A (Rojos)**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
142	292	293	274	121	400	0,02	0,0167	433,33	24R
142	291	295	273	121	500	0,02			
142	291	294	273	121	400	0,02			



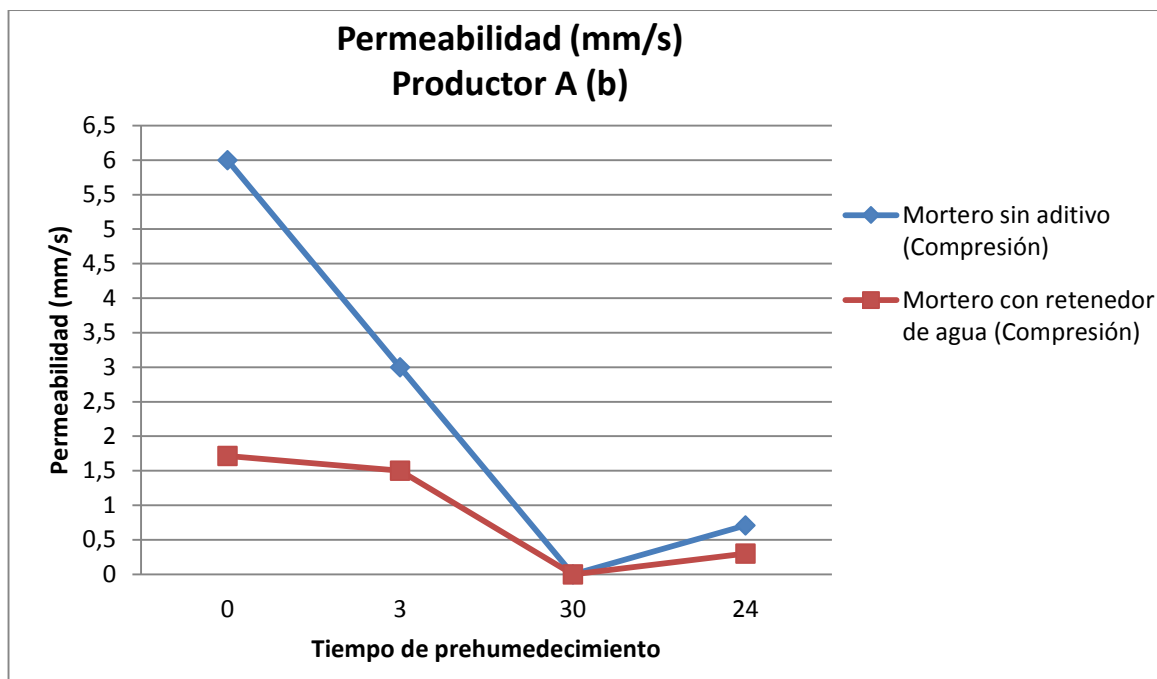
**Figura 48 Flexión muretes verticales ladrillera A-Rojos**

### 3.2.6 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera A

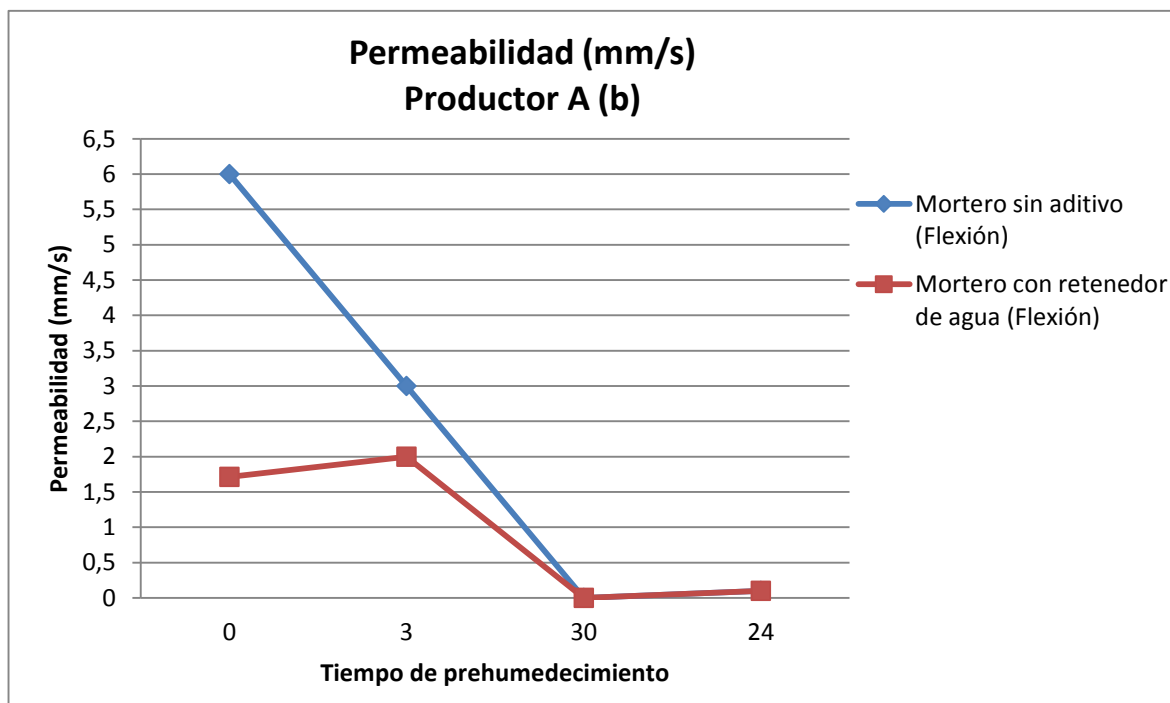
Los valores de las tablas de permeabilidad corresponden a la velocidad con la que se absorbieron 12 ml de agua, expresados en ml/s

**Tabla 24 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera A**

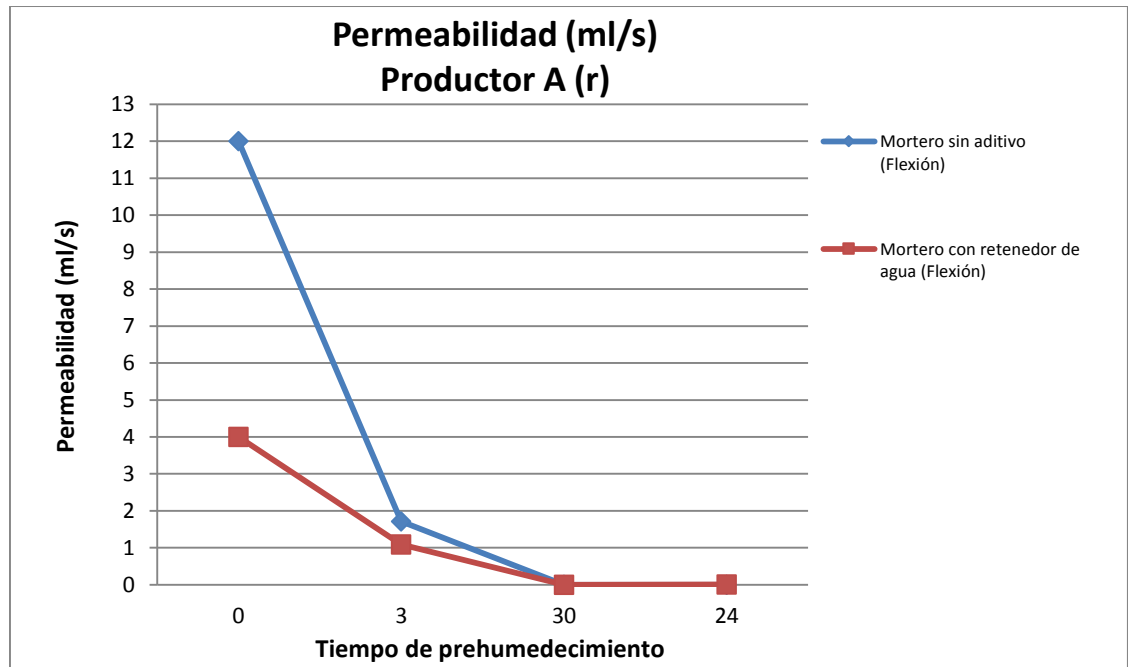
Prehumedecimiento	PV (b)		PV	
	Compresión	Flexión	Compresión	Flexión
0	6,000	6,000	12,000	12,000
0R	1,714	1,714	4,000	4,000
3	3,000	3,000	1,714	1,714
3R	1,500	2,000	1,200	1,091
30	-	-	-	-
30R	-	-	-	-
24	0,706	0,100	-	-
24R	0,300	0,100	0,011	0,007



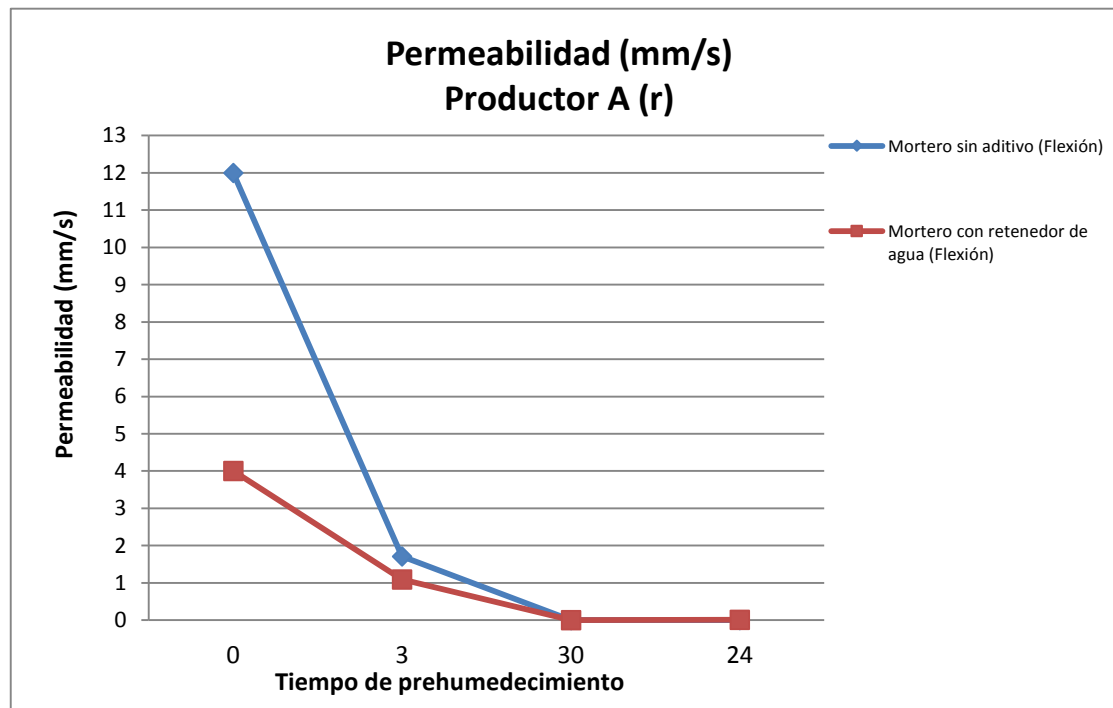
**Figura 49 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera A (Blancos)**



**Figura 50 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera A (Blancos)**



**Figura 51 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera A (Rojos)**



**Figura 52 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera A (Rojos)**

### 3.3 LADRILLERA B

#### 3.3.1 Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera B

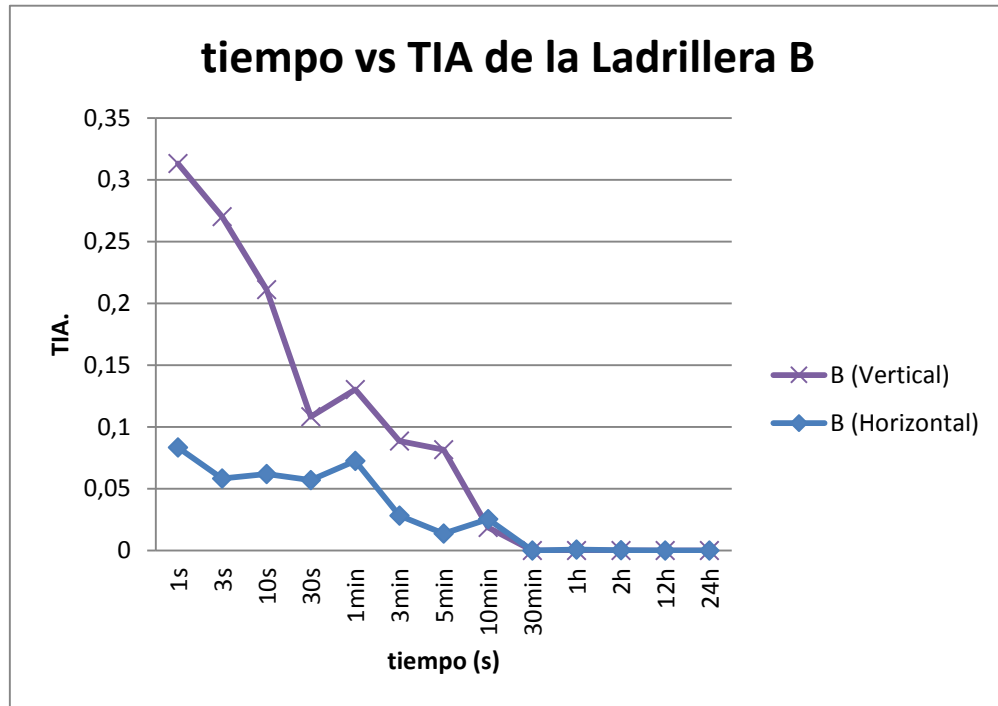


Figura 53 T.I.A en los ladrillos de la Ladrillera B

#### 3.3.2 Absorción de la Ladrillera B

Tabla 25 Absorción Ladrillera B

LADRILLERA B (PH)		LADRILLERA B (PV)	
Unidades	Aa %	Unidades	Aa %
1	17,20%	1	18,60%
2	17,20%	2	18,10%
3	17,50%	3	18,70%
4	18,20%	4	18,00%
5	16,20%	5	19,00%
Promedio	17,26%	Promedio	18,48%
TIA seco	8,33%	TIA seco	31,31%
Aa/TIA	207,20%	Aa/TIA	59,02%

### 3.3.3 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera B

**Tabla 26 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera B**

a (mm)	h (mm)	L (mm)	ep	et	AREA BRUTA (cm2)	AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	LADRILLERA
Ladrillos de Perforación Horizontal									
140	88	292	13	12	409	409	256,1	6,3	B
141	87	290	14	12	409	409	270,1	6,6	B
140	88	291	13	12	407	407	231,5	5,7	B
141	88	292	13	12	412	412	240,1	5,8	B
140	89	290	13	12	406	406	260,2	6,4	B
Ladrillos de Perforación Vertical									
142	90	294	22	22	417	224	678,6	30,3	B
140	90	293	22	22	410	217	650,1	30	B
141	91	291	22	22	410	218	649,3	29,8	B
140	89	292	22	22	409	214	669,6	31,3	B
143	91	293	22	22	419	228	680,6	29,8	B

### 3.3.4 Resistencia a compresión de los muretes de la ladrillera B

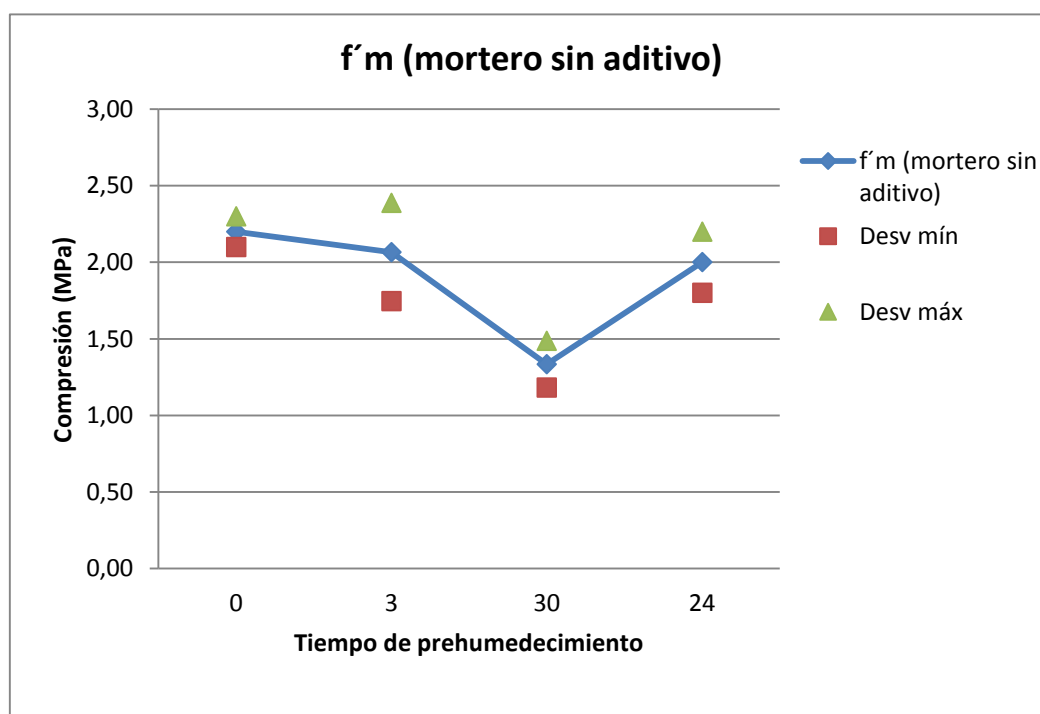
En la Figura 54 y la Figura 55 se muestran la resistencia a compresión de los muretes contruidos con ladrillos de perforación horizontal de la ladrillera B.

**Tabla 27 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera B**

AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
416	97,6	2,3	2,20	0
415	85,8	2,1		
416	90,3	2,2		
416	68,8	1,7	1,67	0R
417	78,1	1,9		
416	59,6	1,4		
416	91,6	2,2	2,07	3
417	95,0	2,3		
414	71,6	1,7		
414	76,6	1,8	2,30	3R
414	101,8	2,5		
413	106,3	2,6		

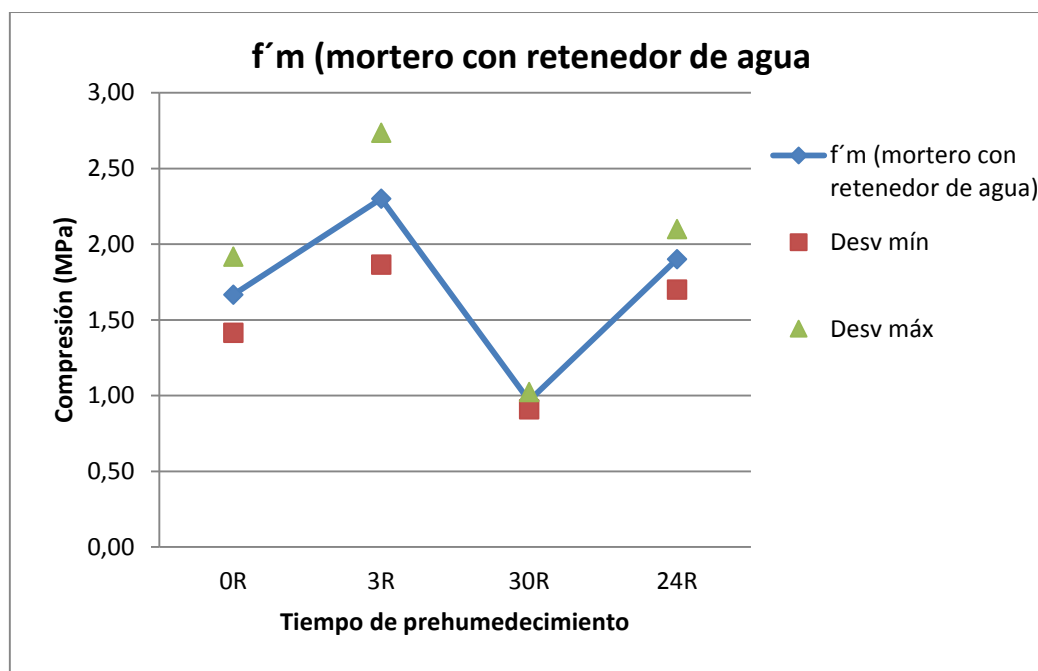
**Tabla 28 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera B**

AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
416	54,8	1,3	1,33	30
416	51,4	1,2		
417	61,7	1,5		
416	36,1	0,9	0,97	30R
415	41,6	1		
415	39,5	1		
415	74,2	1,8	2,00	24
417	82,9	2		
414	91,1	2,2		
413	77,0	1,9	1,90	24R
417	86,0	2,1		
419	70,6	1,7		



**Figura 54 Compresión muretes horizontales ladrillera B**





**Figura 55 Compresión muretes horizontales ladrillera B (Retenedor)**

En la Figura 54 se ve que la resistencia promedio de los muretes fabricados con ladrillos prehumedecidos por 3 minutos es menor que la resistencia de los muretes sin prehumedecimiento; esto se debe a que en uno de los muretes de 3 minutos de prehumedecimiento su resistencia fue mucho menor que la obtenida por los otros dos, reduciendo la resistencia promedio para los muretes prehumedecidos por 3 minutos. Si se descartara este valor la resistencia para 3 minutos de prehumedecimiento sería igual a 2,25 MPa.

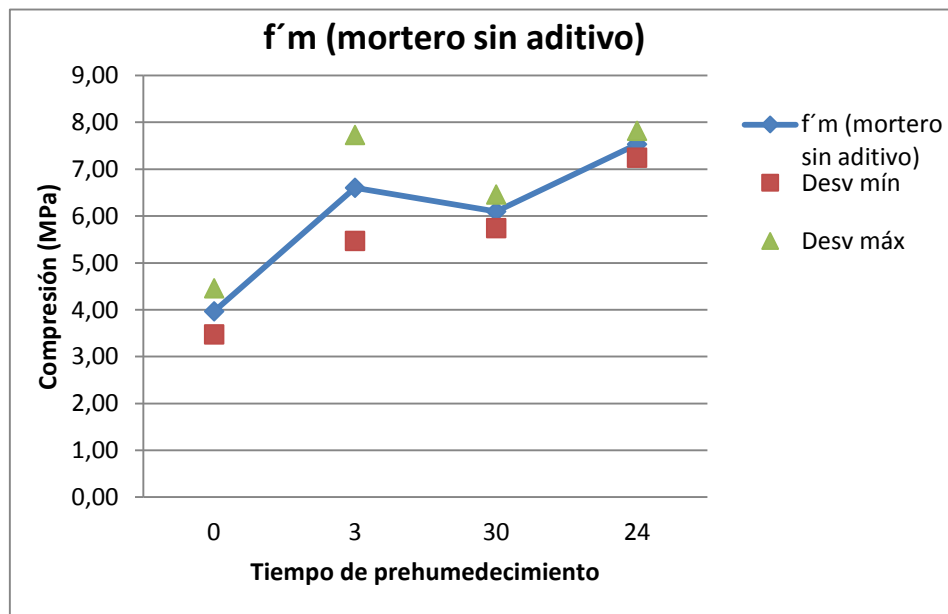
Además, en la Figura 55 se corrobora que los muretes hechos con ladrillos horizontales prehumedecidos por 3 minutos, presentan mejores resultados de resistencia a compresión que las demás condiciones.

**Tabla 29 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera B**

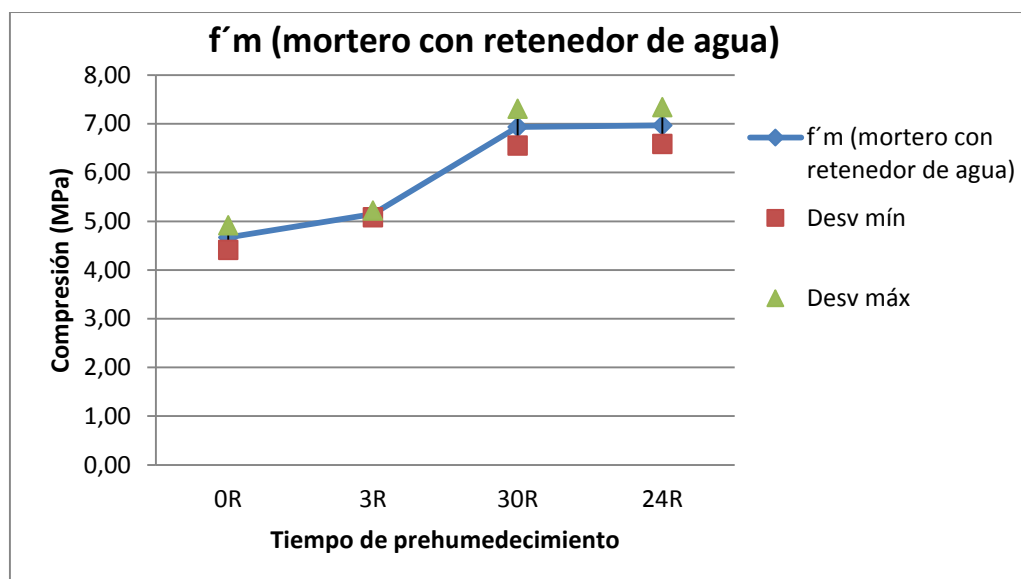
AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
219	74,5	3,4	3,97	0
223	96,8	4,3		
222	92,3	4,2		
223	104,6	4,7	4,67	OR
226	99,3	4,4		
226	110,6	4,9		

**Tabla 30 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera B**

AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
222	164,8	7,4	6,60	3
225	131,1	5,8		
226	117,0	5,2	5,15	3R
220	111,5	5,1		
224	128,4	5,7	6,10	30
220	140,1	6,4		
224	139,2	6,2		
228	164,6	7,2	6,93	30R
224	158,7	7,1		
221	143,2	6,5		
224	160,5	7,2	7,53	24
221	169,9	7,7		
225	173,6	7,7		
224	151,7	6,8	6,97	24R
225	166,5	7,4		
223	149,4	6,7		



**Figura 56 Compresión muretes verticales ladrillera B**



**Figura 57 Compresión muretes verticales ladrillera B (Retenedor)**

En la Figura 56 y la Figura 57 se observa que la resistencia de los muretes fabricados con ladrillos de 3 minutos de prehumedecimiento tiene una resistencia menor a los de 30 minutos y 24 horas, lo cual contrasta con lo mostrado por los otros productores.

Sin embargo se observa que la resistencia promedio de los muretes de 3 minutos de prehumedecimiento elaborados con mortero sin aditivo se dio porque una de las muestras se despegó totalmente y otra presentaba algunas fisuras. Al descartar estas dos muestras la resistencia restante sería igual a 7,4 MPa la cual es similar a la resistencia de los muretes elaborados con ladrillos prehumedecidos por 24 hora; por lo tanto, esto indica que no es necesario prehumedecer los ladrillos por tanto tiempo.

### 3.3.5 Resistencia a flexión de los muretes de la ladrillera B

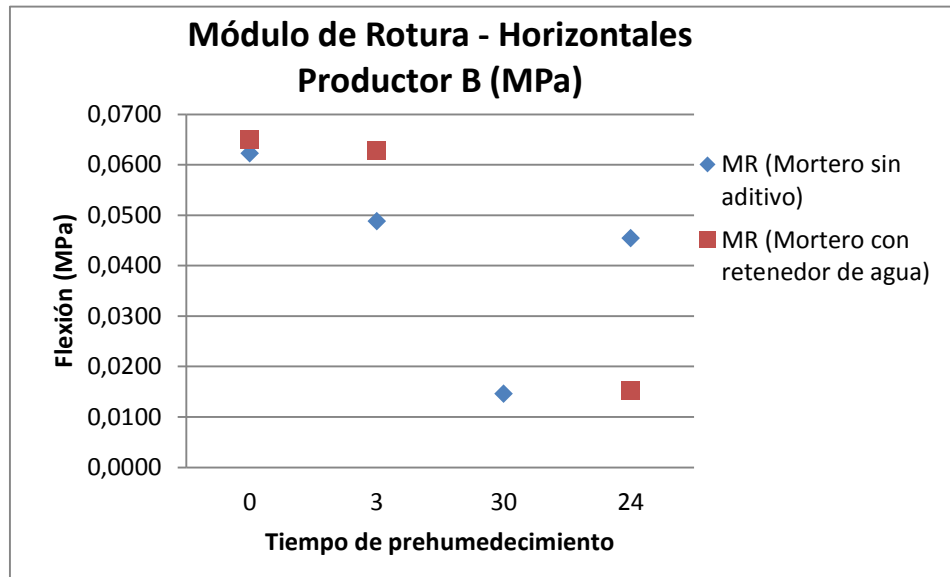
En la Figura 58 y la Figura 59 se muestra la resistencia a flexión de los muretes construidos con ladrillos de perforación horizontal y vertical respectivamente.

**Tabla 31 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera B**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
141	301	297	281	121	1500	0,06	0,0623	1533,33	0
140	302	298	280	121	1700	0,07			
141	301	297	280	121	1400	0,06			
140	299	295	279	121	1600	0,07	0,0650	1600,00	OR
141	298	296	280	121	1700	0,07			
141	298	296	279	121	1500	0,06			

**Tabla 32 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera B**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
142	301	295	279	121	1200	0,05	0,0488	1233,33	3
141	298	296	277	121	1400	0,06			
142	298	295	276	121	1100	0,04			
141	298	293	275	120	1600	0,06	0,0628	1566,67	3R
140	296	292	274	120	1400	0,06			
141	296	292	275	120	1700	0,07			
142	301	297	278	120	400	0,02	0,0147	366,67	30
142	304	296	279	120	300	0,01			
141	303	295	278	120	400	0,02			
142	305	297	289	120	1000	0,04	0,0455	1066,67	24
142	306	298	290	120	1000	0,04			
141	306	296	289	120	1200	0,05			
142	301	295	140	120	2600	0,01	0,0153	1400,00	24R
143	301	296	290	120	600	0,03			
142	302	298	150	120	1000	0,01			

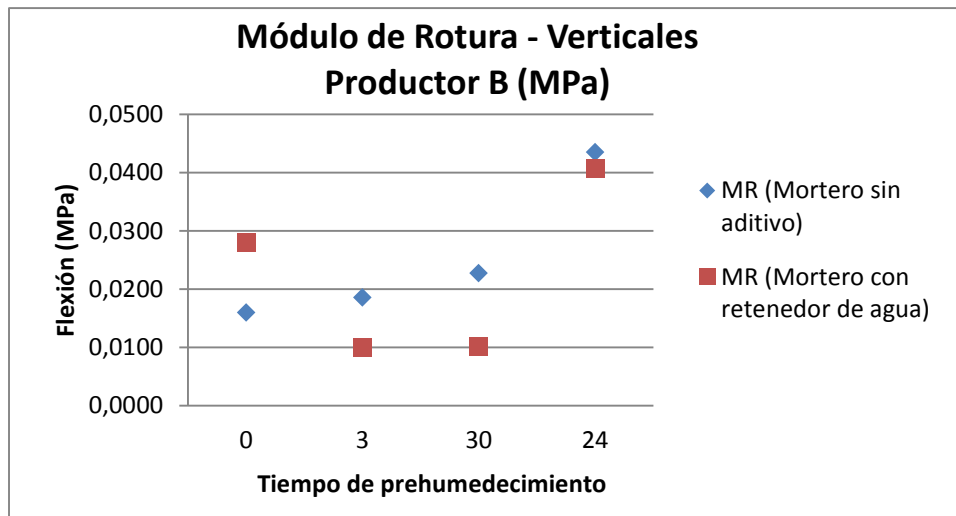


**Figura 58 Flexión muretes horizontales ladrillera B**

A continuación se presentan tabulados los resultados a flexión de muretes verticales de la ladrillera B; se observa que los muretes construidos con morteros con retenedor de agua y ladrillos prehumedecidos son menos resistentes que los muretes cuyas juntas no tienen aditivo.

**Tabla 33 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera B**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
142	301	294	280	122	400	0,02	0,0280	400,00	0R
140	298	295	276	121	700	0,03			
141	297	296	275	121	600	0,02			
140	298	295	276	121	800	0,03			
141	298	294	280	120	400	0,02	0,0186	450,00	3
140	299	295	280	120	500	0,02			
142	302	295	276	121	300	0,01	0,0099	250,00	3R
141	301	296	278	121	200	0,01			
142	296	294	278	120	600	0,02	0,0227	566,67	30
141	298	295	279	120	500	0,02			
142	296	295	278	120	600	0,02			
142	302	295	280	120	300	0,01	0,0101	250,00	30R
142	301	296	281	120	200	0,01			
142	301	292	278	120	1000	0,04	0,0435	1066,67	24
141	303	291	280	120	1100	0,05			
142	302	291	279	120	1100	0,04			
142	299	293	280	120	1000	0,04	0,0406	1000,00	24R
142	298	292	280	120	1200	0,05			
142	300	294	280	120	800	0,03			



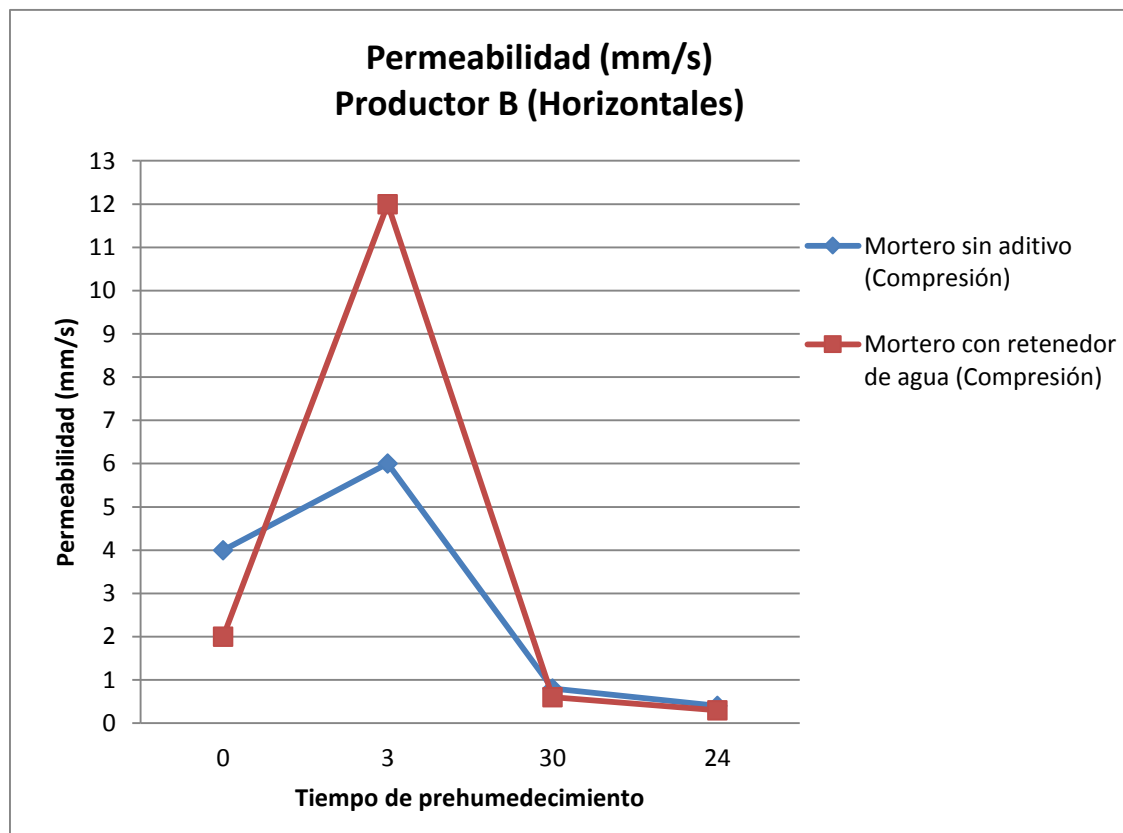
**Figura 59 Flexión muretes verticales ladrillera B**

### 3.3.6 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera B

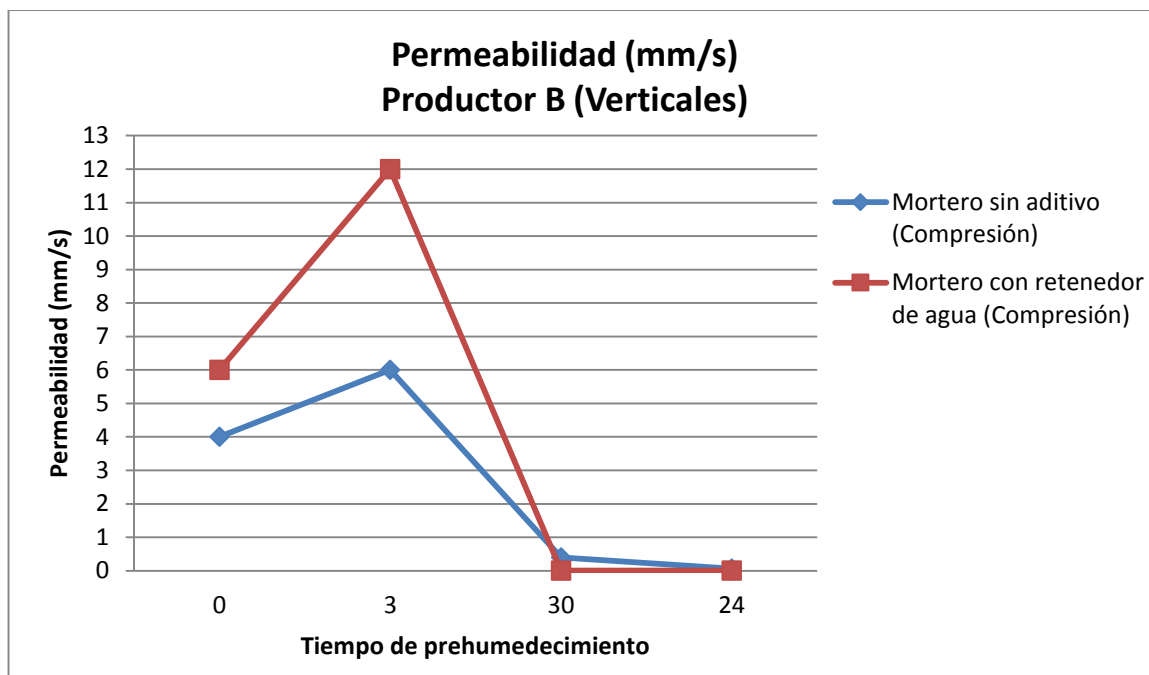
Los valores de las tablas de permeabilidad corresponden a la velocidad con la que se absorbieron 12 ml de agua, expresados en ml/s

**Tabla 34 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera B**

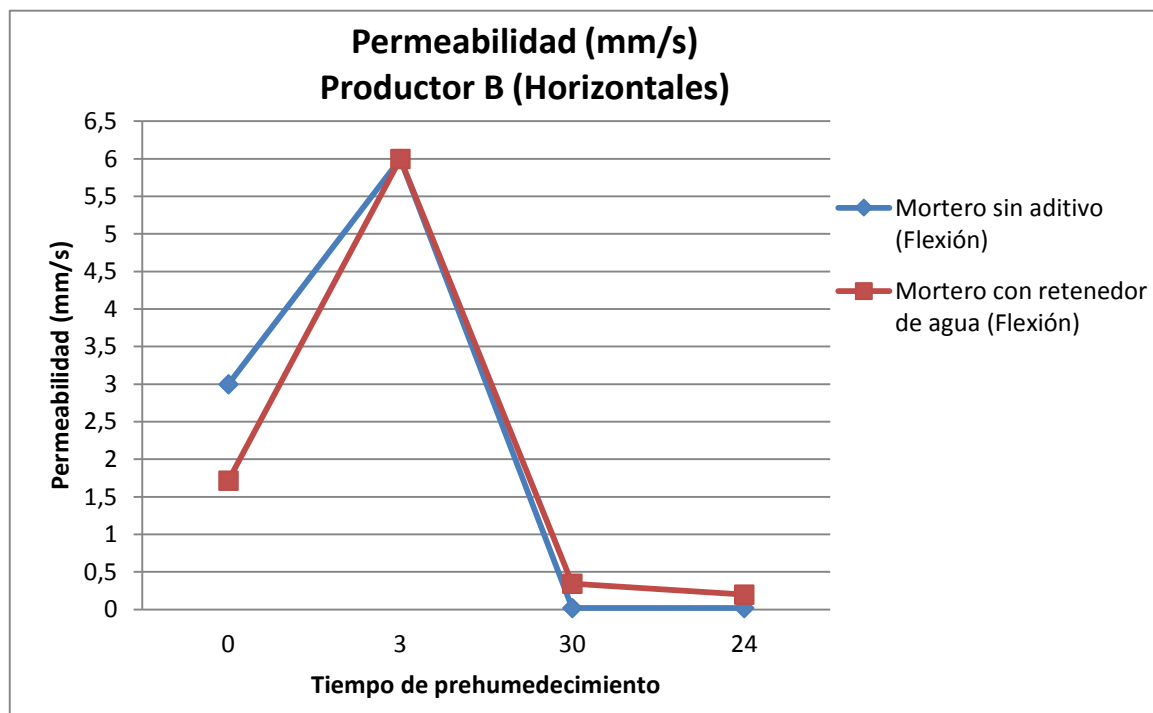
Prehumedecimiento	PH		PV	
	Compresión	Flexión	Compresión	Flexión
0	4,000	3,000	4,000	6,000
0R	2,000	1,714	6,000	6,000
3	6,000	6,000	6,000	12,000
3R	12,000	6,000	12,000	4,000
30	0,800	0,022	0,400	0,160
30R	0,600	0,343	0,011	0,025
24	0,400	0,022	0,067	1,200
24R	0,300	0,200	0,009	0,017



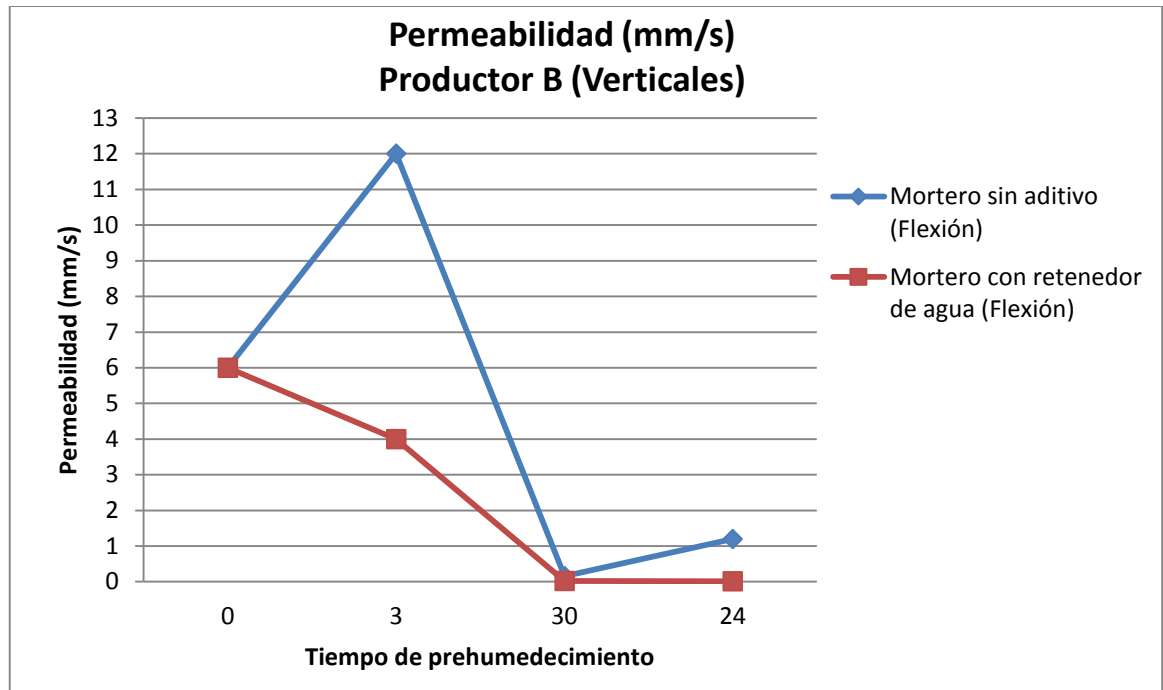
**Figura 60 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de compresión ladrillera B**



**Figura 61 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera B**



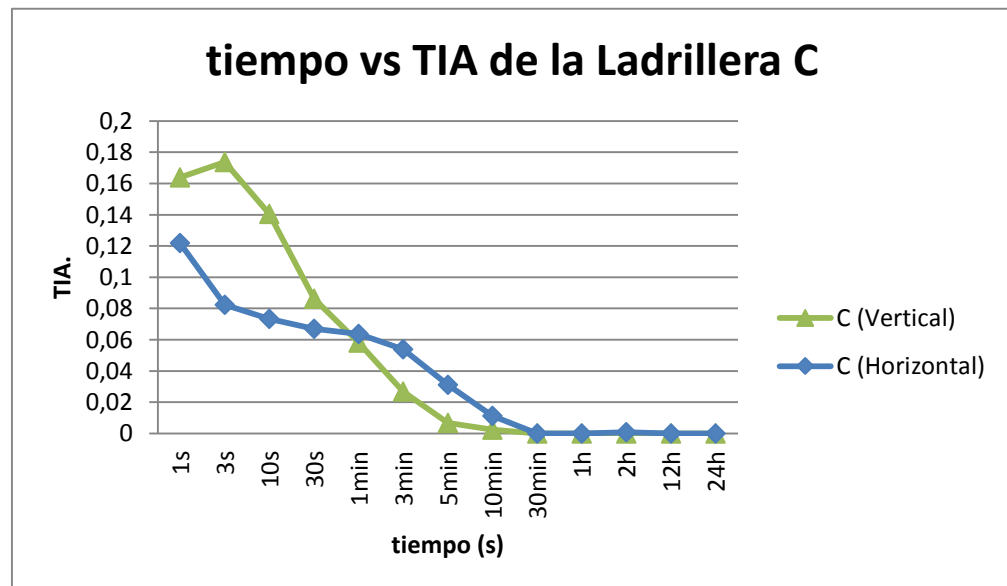
**Figura 62 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de flexión ladrillera B**



**Figura 63 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera B**

### 3.4 LADRILLERA C

#### 3.4.1 Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera C



**Figura 64 TIA en los ladrillos de la Ladrillera C**



En la Figura 64 se observa nuevamente que las TIA de los ladrillos de perforación vertical son mayores que las TIA de los ladrillos de perforación horizontal para tiempos de inmersión inferiores a 1 minuto.

### 3.4.2 Absorción de la Ladrillera C

**Tabla 35 Absorción Ladrillera C**

LADRILLERA C (PH)		LADRILLERA C (PV)	
Unidades	Aa %	Unidades	Aa %
1	21,40%	1	19,70%
2	20,90%	2	18,70%
3	24,00%	3	20,00%
4	21,30%	4	20,10%
5	24,00%	5	19,60%
Promedio	22,32%	Promedio	19,62%
TIA seco	12,19%	TIA seco	16,39%
Aa/TIA	183,10%	Aa/TIA	119,71%

### 3.4.3 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera C

**Tabla 36 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera C**

a (mm)	h (mm)	L (mm)	ep	et	AREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	LADRILLERA
Ladrillos de Perforación Horizontal									
143	92	291	13	11	416	416	113,5	2,7	C
141	92	291	14	11	410	410	126,4	3,1	C
140	91	293	14	11	410	410	131,7	3,2	C
141	90	294	13	11	415	415	126	3	C
141	90	292	13	11	412	412	109,6	2,7	C
Ladrillos de Perforación Vertical									
144	88	289	25	23	416	239	422,9	17,7	C
142	88	291	25	22	413	234	469,8	20,1	C
141	89	292	25	22	412	236	438	18,6	C
141	87	290	26	22	409	228	469	20,6	C
141	88	292	26	22	412	235	419,1	17,8	C

#### 3.4.4 Resistencia a compresión de los muretes de la ladrillera C

En la Figura 66 y en la Figura 67 se muestran la resistencia a compresión de los muretes contruidos con ladrillos de perforación horizontal de la ladrillera C.

En la Figura 66 se observa una mayor resistencia promedio a la compresión de los muretes de 3 minutos, esto se debe a que uno de los muretes sin prehumedecimiento obtuvo una resistencia de 2,2 MPa, tal como se muestra en la Tabla 37, debido a que probablemente antes del fallo el murete pudo haberse despegado. Se sabe que la resistencia de un murete despegado es mayor a la de un murete normal ya que al despegarse las piezas ya no trabaja el murete como un todo sino individualmente.

En esta misma gráfica, se observa que la resistencia promedio de los muretes con ladrillos prehumedecidos 30 minutos son muchísimo más resistentes que los de 3 minutos de prehumedecimiento, esto se dio porque se vio que al momento de elaborar los primeros muretes de 30 minutos y 24 horas de prehumedecimiento, se estaba escurriendo la mezcla por exceso de humedad, tal como se muestra en la Figura 65 por tanto se le sugirió al mampostero reducir la cantidad de agua a la mezcla para evitar este problema, obteniendo una mayor resistencia en la mezcla y por ende en el murete.



**Figura 65 Murete de 30 minutos de prehumedecimiento sin retenedor de agua**

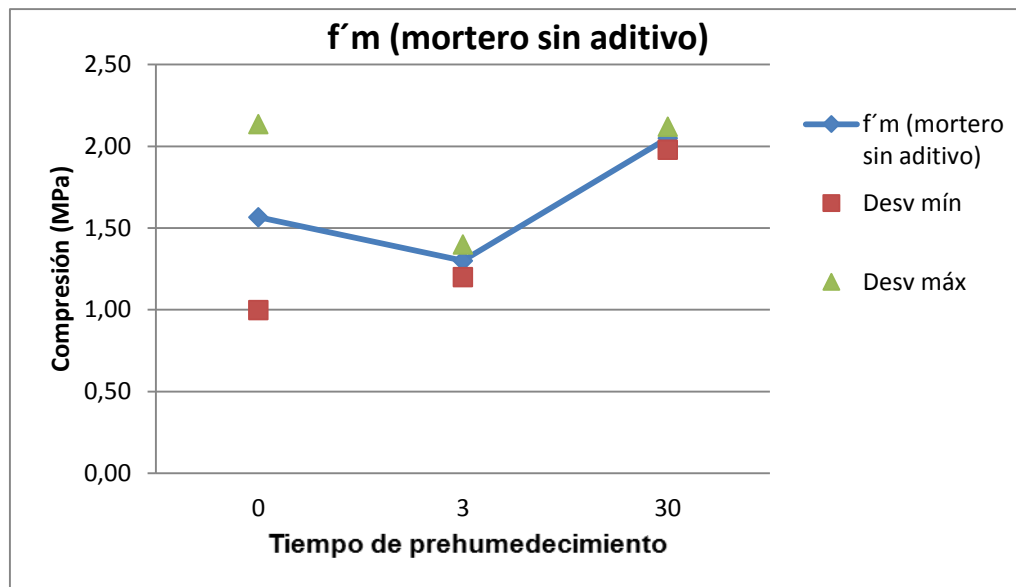
La Tabla 37 muestra la resistencia a compresión de los muretes contruidos con ladrillos de perforación horizontal de la ladrillera C. Esta se obtiene al dividir la carga última por el área neta. El área neta, es el área en la cual se deposita mezcla para la conformación de las juntas.

**Tabla 37 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera C**

AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
418	45,4	1,1	1,57	0
413	89,0	2,2		
410	58,7	1,4		

**Tabla 38 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera C**

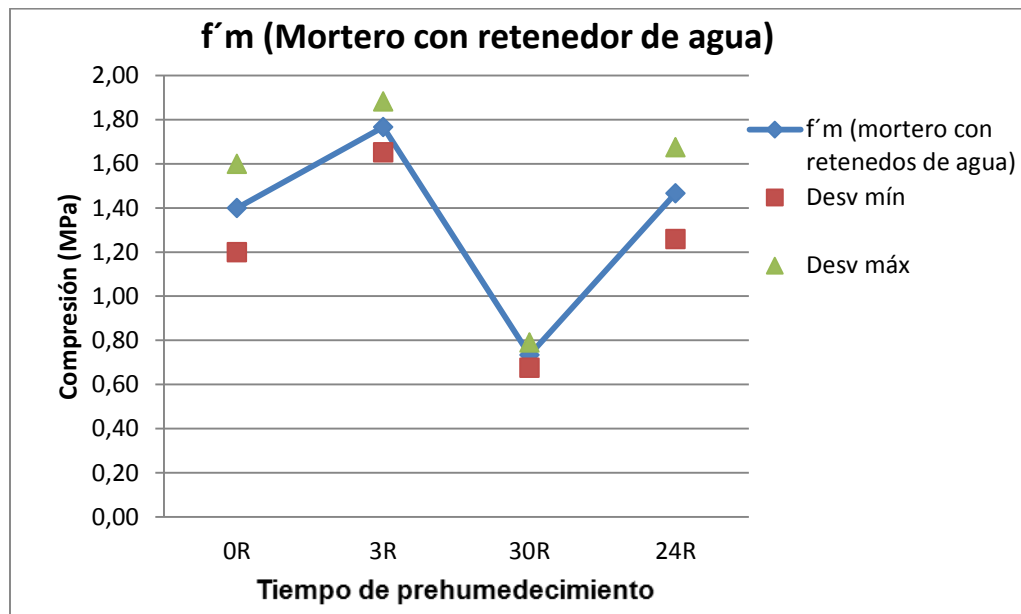
AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
420	57,6	1,4	1,4	0R
418	50,6	1,2		
413	65,6	1,6		
418	49,6	1,2	1,3	3
416	54,4	1,3		
419	59,5	1,4		
418	72,8	1,7	1,77	3R
418	80,3	1,9		
416	68,6	1,7		
418	83,9	2	2,05	30
413	87,4	2,1		
419	33,7	0,8	0,73	30R
416	27,9	0,7		
416	29,5	0,7		
420	54,9	1,3	1,47	24R
422	59,0	1,4		
415	71,2	1,7		



**Figura 66 Compresión muretes horizontales ladrillera C**

En la Figura 67 se vuelve a observar la tendencia presentada en los muretes de la ladrillera D. Se observa que para un prehumedecimiento de 3 minutos la resistencia a compresión

es mucho mayor que la resistencia de los demás prehumedecimientos y además se corrobora que los muretes elaborados con retenedor de agua son más homogéneos.



**Figura 67 Compresión muretes horizontales ladrillera C (Retenedor)**

En la Figura 68 y la Figura 69 no se perciben diferencias de resistencia en los muretes que se fabrican con ladrillos de perforación vertical prehumedecidos.

Adicionalmente se observa un aumento en la resistencia a compresión en los muretes sin prehumedecimiento fabricados con mortero con retenedor de agua con respecto a los muretes elaborados con mortero sin aditivo.

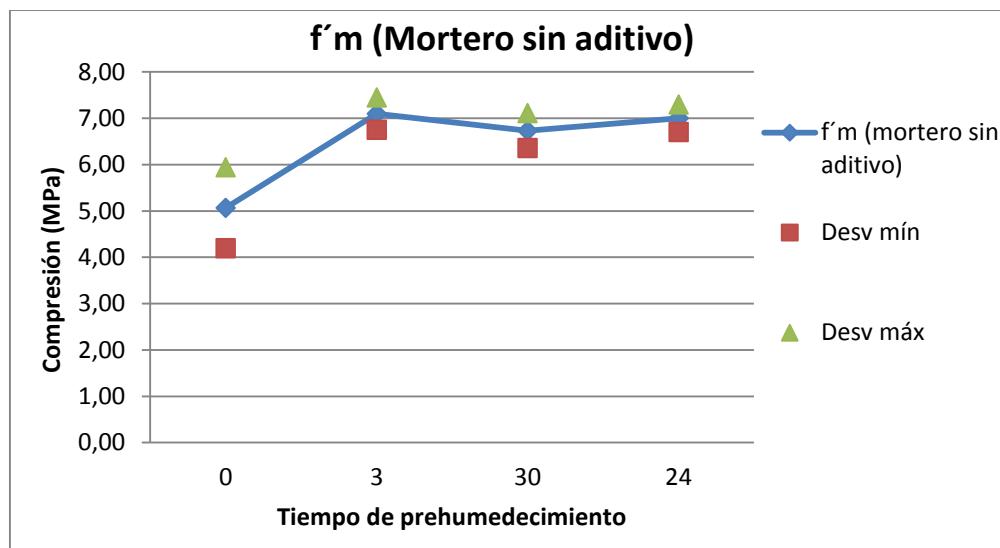
Se observa en la Tabla 39 que la resistencia de los muretes construidos con ladrillos sin prehumedecimiento más mortero con retenedor de agua es superior a la de un murete hecho con una mezcla sin retenedor de agua, esto se debe al efecto que el retenedor de agua efectúa sobre dicha mezcla ayudándole a no perder el agua por causa de la tasa inicial de absorción del ladrillo, esta reducción en el porcentaje de pérdida de agua del mortero conlleva a que la pega mantenga su resistencia y a una menor retracción del mortero.

Sin embargo, los muretes elaborados con piezas humedecidas son menos resistentes cuando se construyen con un mortero que tenga retenedor de agua versus un mortero sin aditivo.

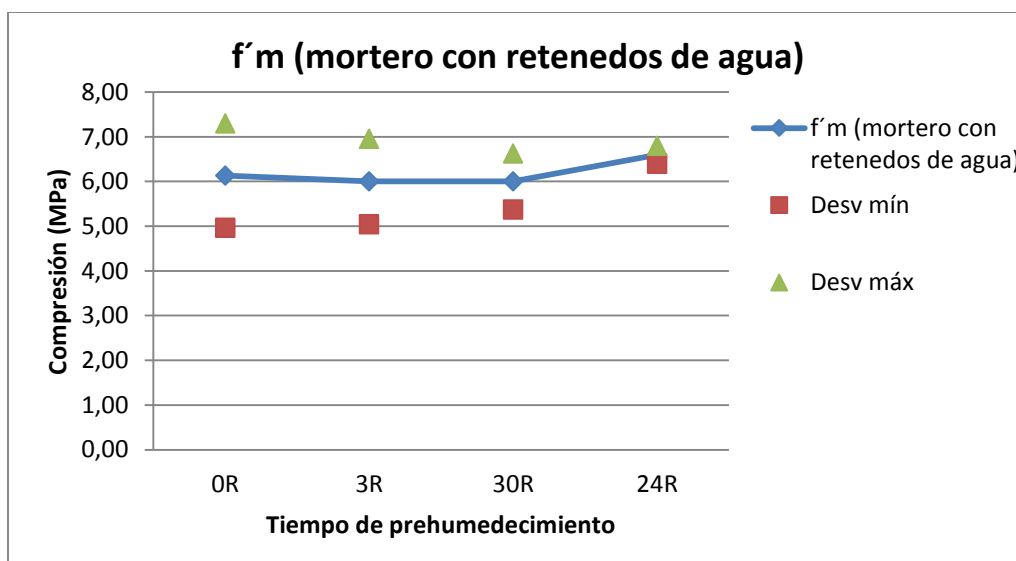
**Tabla 39 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera C**

AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
240	126,2	5,3	5,07	0

230	95,1	4,1		
228	133,3	5,8		
239	178,0	7,4		
240	123,3	5,1	6,13	0R
237	139,4	5,9		
236	158,5	6,7		
237	173,3	7,3	7,10	3
233	170,8	7,3		
239	130,1	5,4		
239	170,8	7,1	6,00	3R
236	129,5	5,5		
243	167,2	6,9		
250	175,3	7	6,73	30
253	159,4	6,3		
250	145,2	5,8		
255	141,4	5,5	6,00	30R
249	166,1	6,7		
252	176,3	7		
246	164,7	6,7	7,00	24
250	181,9	7,3		
253	167,4	6,6		
250	170,7	6,8	6,60	24R
252	160,1	6,4		



**Figura 68 Compresión muretes verticales ladrillera C**



**Figura 69 Compresión muretes verticales ladrillera C (Retenedor)**

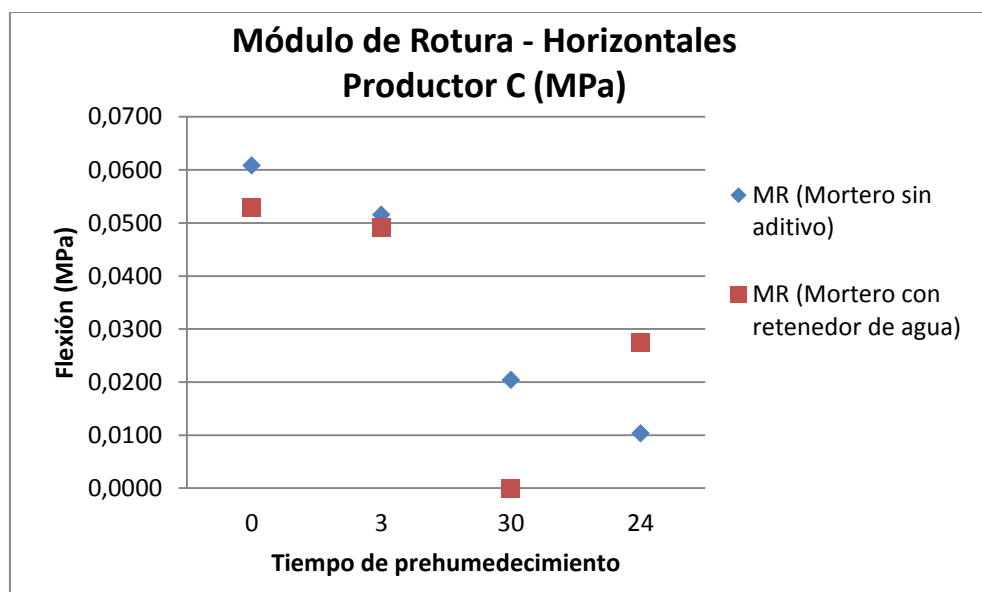
### 3.4.5 Resistencia a flexión de los muretes de la ladrillera C

En la Figura 70 y la Figura 71 se muestra la resistencia a flexión de los muretes construidos con ladrillos de perforación horizontal y vertical respectivamente.

Se observa que la resistencia a flexión de las muestras va disminuyendo conforme aumenta el prehumedecimiento para los muretes construidos con ladrillos de perforación horizontal.

**Tabla 40 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera C**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
144	308	290	286	120	1600	0,07	0,0609	1466,67	0
143	306	289	285	120	1500	0,06			
144	305	290	285	120	1300	0,05			
142	298	295	273	121	1400	0,05	0,0529	1366,67	0R
141	299	296	274	121	1500	0,06			
142	298	295	275	121	1200	0,05			
112	296	294	278	122	900	0,06	0,0516	833,33	3
113	295	295	277	122	700	0,04			
114	296	296	277	122	900	0,05			
143	299	293	280	121	1300	0,05	0,0491	1233,33	3R
142	296	292	279	121	1200	0,05			
143	295	294	279	121	1200	0,05			
142	306	294	281	121	400	0,02	0,0205	500,00	30
141	304	295	282	121	600	0,02			
142	296	295	271	121	200	0,01	0,0103	266,67	24
142	298	294	274	121	400	0,02			
141	299	294	275	121	200	0,01			
143	304	291	291	121	600	0,03	0,0274	650,00	24R
144	306	294	290	121	700	0,03			



**Figura 70 Flexión muretes horizontales ladrillera C**

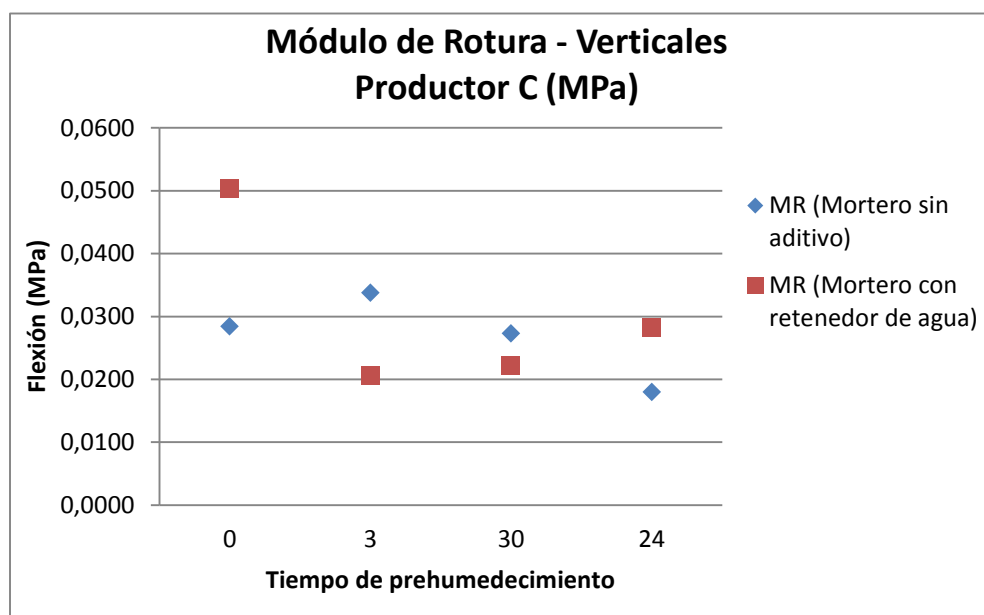
**Tabla 41 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera C**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
141	296	295	279	120	700	0,03	0,0285	700,00	0
144	301	289	279	120	1200	0,05	0,0503	1266,67	0R
143	300	291	278	120	1400	0,06			
144	302	291	279	120	1200	0,05			
142	291	282	279	120	900	0,04	0,0338	800,00	3
141	292	283	280	120	700	0,03			
143	295	295	275	120	600	0,02	0,0207	533,33	3R
142	296	295	274	120	500	0,02			
142	296	296	275	120	500	0,02			
142	289	286	269	120	500	0,02	0,0274	700,00	30
141	288	287	269	120	700	0,03			
141	289	287	269	120	900	0,04			
143	294	285	275	122	600	0,02	0,0223	566,67	30R
142	295	286	274	122	600	0,02			
143	294	287	274	122	500	0,02			



**Tabla 42 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera C**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
143	294	284	269	120	500	0,02	0,0180	466,67	24
142	295	285	268	120	400	0,02			
143	294	284	269	120	500	0,02			
144	292	286	279	120	700	0,03	0,0282	700,00	24R
143	291	286	276	120	800	0,03			
143	291	285	278	120	600	0,02			



**Figura 71 Flexión muretes verticales ladrillera C**

### 3.4.6 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera C

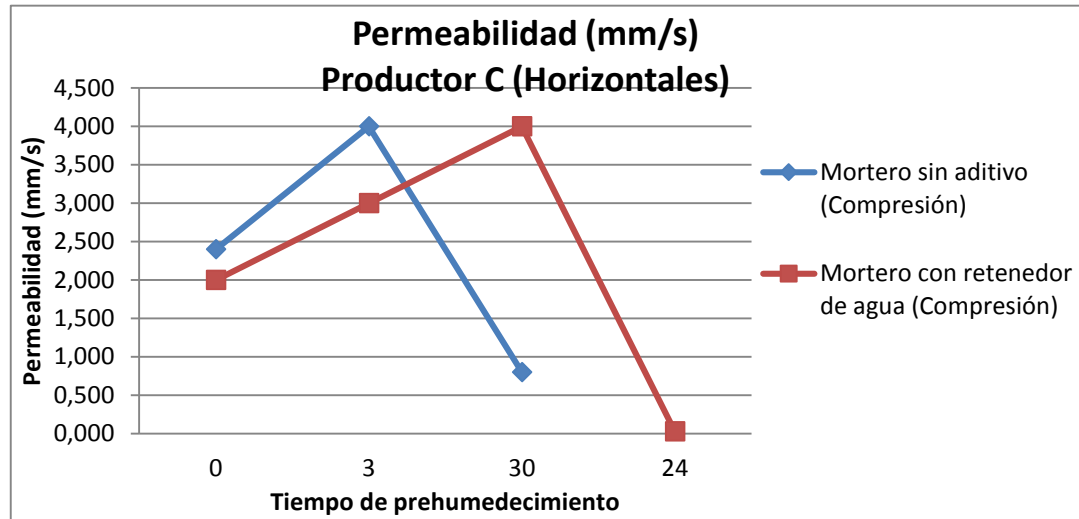
Los valores de las tablas de permeabilidad corresponden a la velocidad con la que se absorbieron 12 ml de agua, expresados en ml/s

**Tabla 43 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera C**

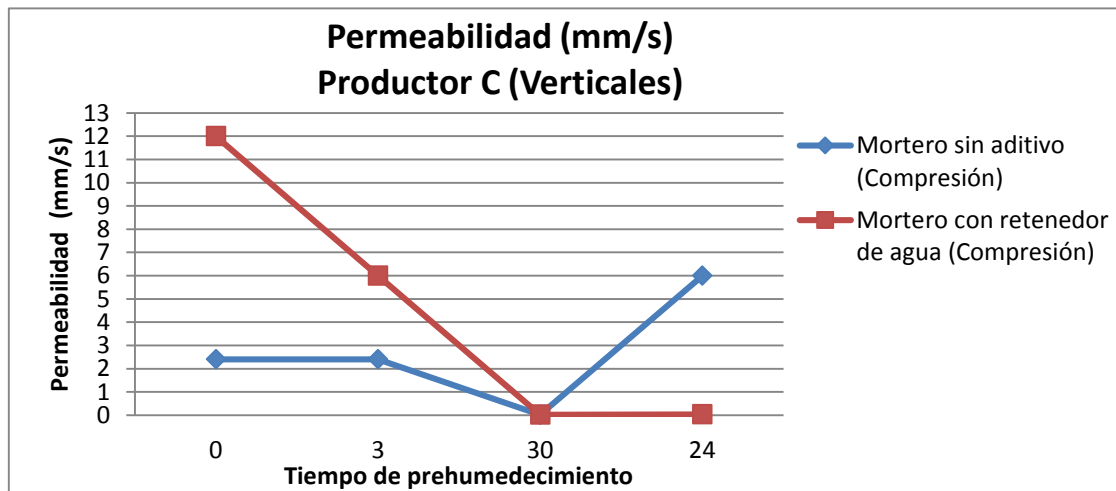
Prehumedecimiento	PH		PV	
	Compresión	Flexión	Compresión	Flexión
0	2,400	4,000	2,400	4,000
0R	2,000	1,714	12,000	6,000
3	4,000	1,500	2,400	1,200

**Tabla 44 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera C**

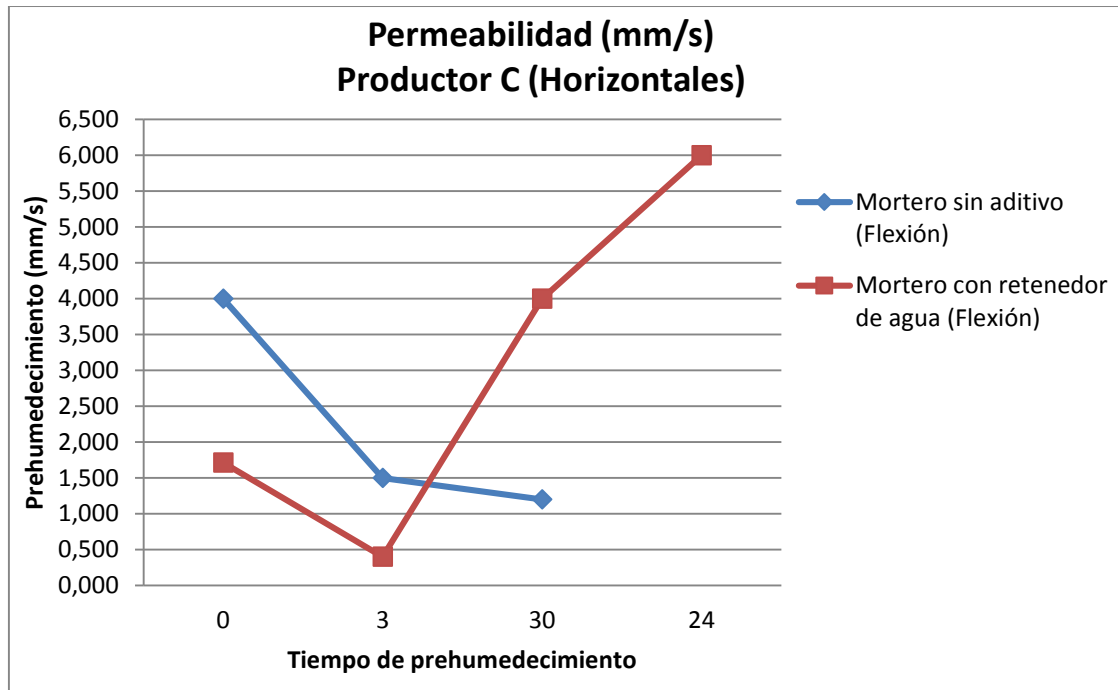
Prehumedecimiento	PH		PV	
	Compresión	Flexión	Compresión	Flexión
3R	3,000	0,400	6,000	1,000
30	0,800	1,200	0,017	0,014
30R	4,000	4,000	0,022	4,000
24	-	-	6,000	0,025
24R	0,029	6,000	0,033	0,003



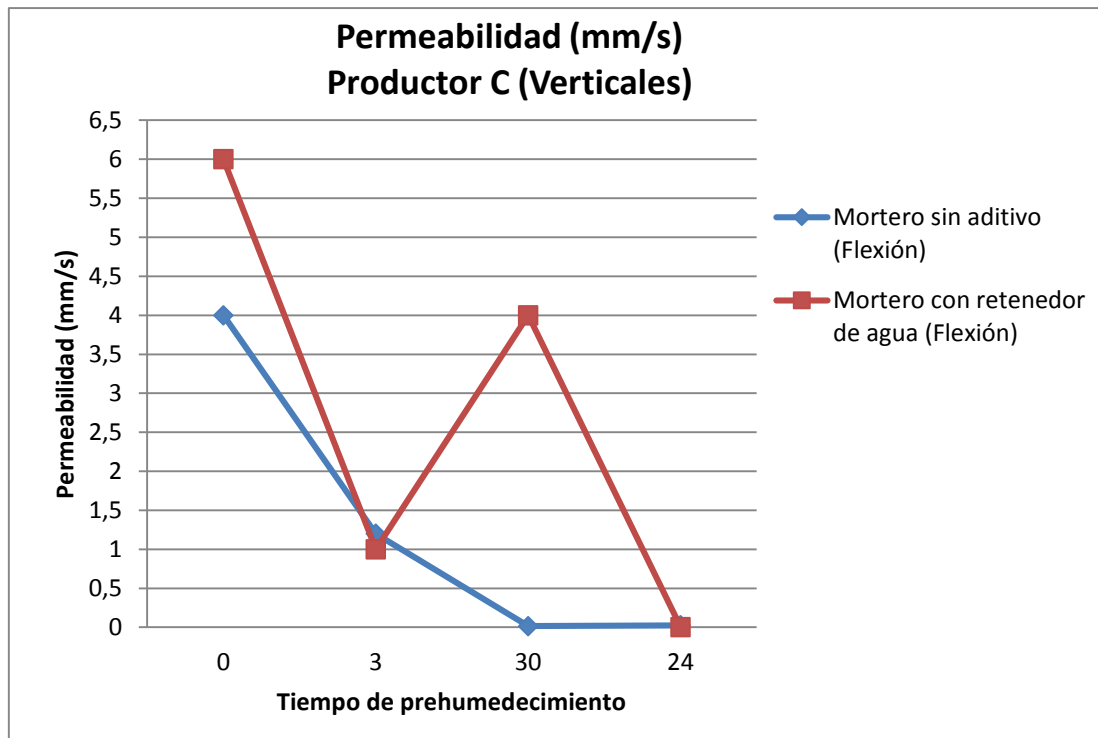
**Figura 72 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de compresión ladrillera C**



**Figura 73 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera C**



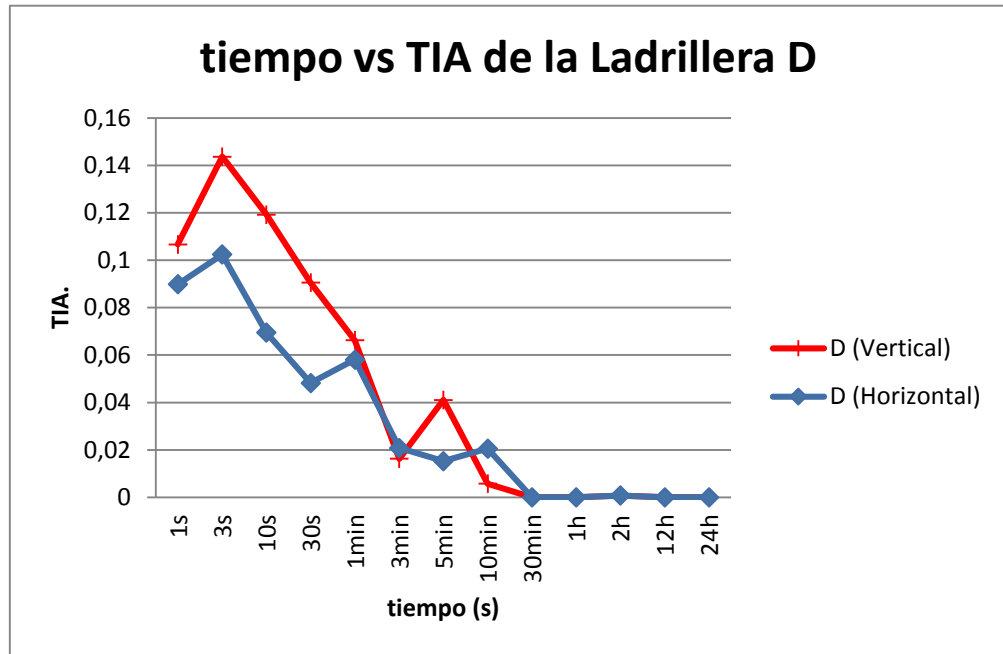
**Figura 74 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de flexión ladrillera C**



**Figura 75 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera C**

### 3.5 LADRILLERA D

#### 3.5.1 Tasa Inicial de Absorción (TIA) de la Ladrillera D



**Figura 76 TIA en los ladrillos de la Ladrillera D**

En la Figura 76 se puede observar que la TIA de los ladrillos de perforación vertical es mayor que para los ladrillos de perforación horizontal para tiempos de inmersión inferiores a 10 minutos.

#### 3.5.2 Absorción de la Ladrillera D

**Tabla 45 Absorción Ladrillera D**

LADRILLERA D (PH)		LADRILLERA D (PV)	
Unidades	Aa %	Unidades	Aa %
1	15,60%	1	14,40%
2	15,60%	2	14,80%
3	15,70%	3	14,50%
4	15,60%	4	14,00%
5	16,00%	5	14,50%
Promedio	15,70%	Promedio	14,44%
TIA seco	8,98%	TIA seco	10,67%
Aa/TIA	174,83%	Aa/TIA	135,33%

### 3.5.3 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera D

**Tabla 46 Resistencia a compresión de los ladrillos de la Ladrillera D**

a (mm)	h (mm)	L (mm)	ep	et	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Área Neta (cm <sup>2</sup> )	Carga (N)	Resistencia(MPa)	Ladrillera
Ladrillos de Perforación Horizontal									
142	104	293	15	12	416	416	228	5,5	D
140	102	290	14	12	406	406	241,6	6	D
141	102	293	14	12	413	413	218,9	5,3	D
142	102	293	14	12	416	416	240	5,8	D
140	101	295	14	12	413	413	230,2	5,6	D
Ladrillos de Perforación Vertical									
142	103	293	43	14	416	223	688,1	30,9	D
142	101	294	42	14	417	220	717	32,6	D
140	102	292	42	14	409	217	664,3	30,6	D
141	100	290	43	14	409	213	720,6	33,8	D
141	102	289	42	14	407	213	693	32,5	D

### 3.5.4 Resistencia a compresión de los muretes de la Ladrillera D

En las Figuras que se mostrarán a continuación, los datos que figuran en el eje de las ordenadas son los tiempos de prehumedecimiento para los ladrillos antes de la construcción de los muretes. En este orden de ideas, 0 es igual a sin prehumedecimiento, 3 es 3 minutos de prehumedecimiento, 30 es equivalente a 30 minutos de prehumedecimiento y finalmente 24 es 24 horas de prehumedecimiento. La “R” agregada a estos números significa que la mezcla fue preparada con retenedor de agua.

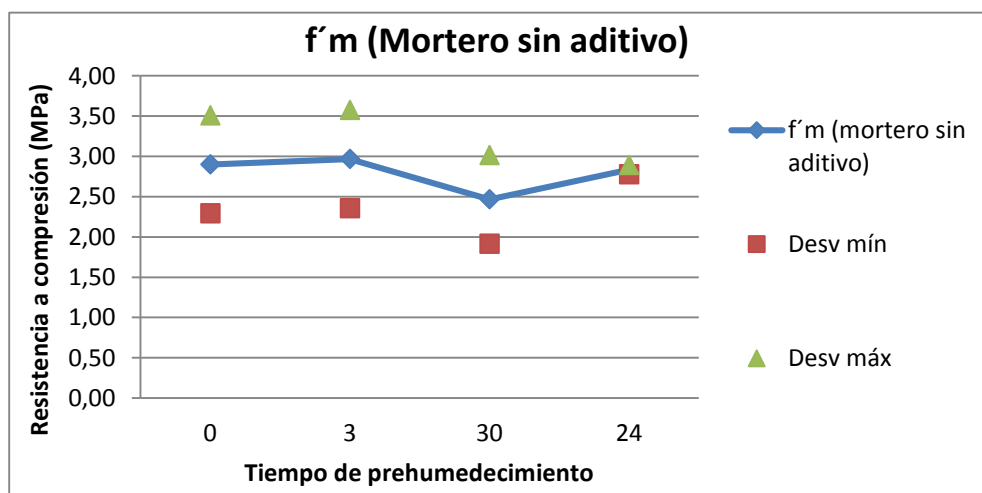
En la Figura 77 y la Figura 78 se muestran la resistencia a compresión de los muretes contruidos con ladrillos de perforación horizontal de la ladrillera D. En ambas se observa que para un prehumedecimiento de 3 minutos se alcanza una mayor resistencia a compresión en los muretes.

En la Figura 77 se usó un mortero sin aditivo y en la Figura 78 se usó un mortero con retenedor de agua (Hidroret). Se observa una desviación estándar mayor en las muestras sin aditivo debido a que en el momento de fabricación del murete, la mezcla que se había fabricado inicialmente pierde agua al transcurrir del tiempo por ende los muretes con retenedor de agua presentan menor dispersión en las resistencias de las muestras debido a que la mezcla mantiene más estable los componentes.

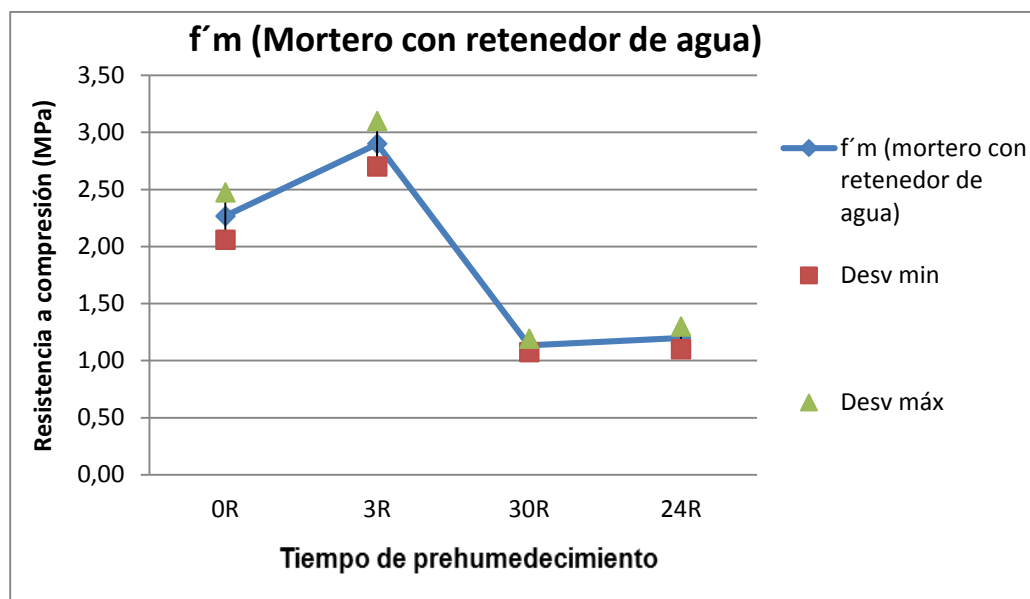
Además, las resistencias a compresión de las muestras prehumedecidas por 30 minutos y 24 horas caen drásticamente al utilizar retenedor de agua en las mezclas, esto se da debido a que el exceso de humedad de los ladrillos debilita la consistencia de la mezcla.

**Tabla 47 Resistencia a compresión de muretes horizontales ladrillera D**

AREA NETA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
417	132,3	3,20	2,90	0
420	136,9	3,30		
416	92,6	2,20		
425	92,1	2,20	2,27	0R
423	107,0	2,50		
428	88,8	2,10		
425	97,0	2,30	2,97	3
420	145,9	3,50		
419	129,3	3,10		
422	131,6	3,10	2,90	3R
417	120,3	2,90		
423	113,8	2,70		
422	107,1	2,50	2,47	30
422	81,6	1,90		
416	123,5	3,00		
414	52,5	1,10	1,13	30R
419	49,8	1,10		
420	52,2	1,20		
419	121,2	2,90	2,83	24
414	116,4	2,80		
417	117,6	2,80		
419	61,1	1,30	1,20	24R
414	57,6	1,20		
422	53,6	1,10		



**Figura 77 Compresión muretes horizontales ladrillera D**



**Figura 78 Compresión muretes horizontales ladrillera D (Retenedor)**

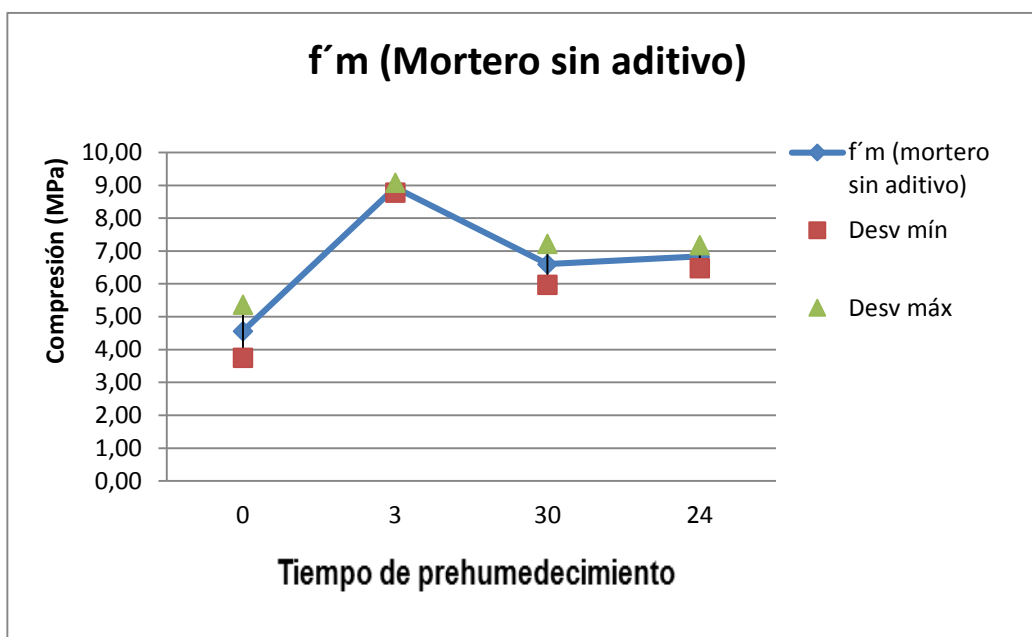
En el caso de los muretes fabricados con ladrillos de perforación vertical se observa una tendencia similar a los resultados de los ladrillos de perforación horizontal; tiempos óptimos de prehumedecimiento de 3 minutos más estabilidad en la resistencia en los que tienen retenedor de agua y caída drástica de la resistencia en los que tienen retenedor de agua y prehumedecimientos a saturación (30 minutos y 24 horas) (Ver Figura 79 y Figura 80)

**Tabla 48 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera D**

AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
235,0	109,3	4,70	4,57	0
236,0	125,4	5,30		
238,0	88,4	3,70		
229,0	130,3	5,10	5,23	OR
229,0	140,4	5,50		
229,0	117,0	5,10		
233,0	211,1	9,10	8,93	3
235,0	207,6	8,80		
232,0	205,7	8,90		
230,0	179,8	7,80	7,33	3R
230,0	177,0	6,90		
232,0	168,4	7,30		

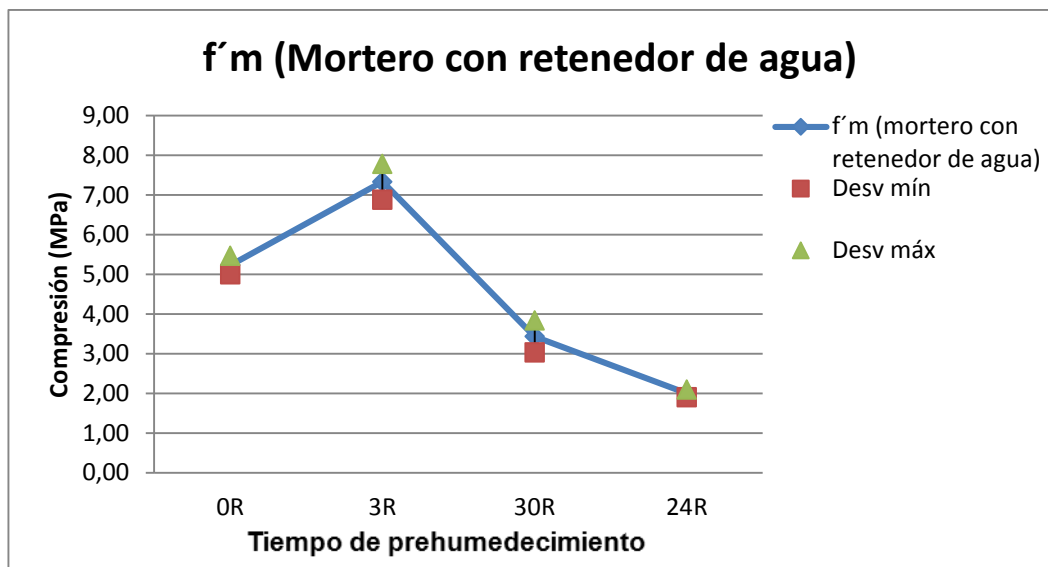
**Tabla 49 Resistencia a compresión de muretes verticales ladrillera D**

AREA NETA (cm2)	CARGA (N)	RESIST, (MPa)	RESIST PROMEDIO (MPa)	PREHUMEDECIMIENTO
236,0	193,6	7,30	6,60	30
233,0	166,8	6,40		
232,0	159,4	6,10		
233,0	99,6	3,80	3,43	30R
235,0	79,8	3,00		
233,0	91,9	3,50		
235,0	171,8	6,50	6,83	24
238,0	160,7	6,80		
235,0	190,0	7,20		
235,0	52,5	2,00	2,00	24R
238,0	51,1	1,90		
239,0	49,4	2,10		



**Figura 79 Compresión muretes verticales ladrillera D**





**Figura 80 Compresión muretes verticales ladrillera D (Retenedor)**

### 3.5.5 Resistencia a flexión de los muretes de la Ladrillera D

En la Tabla 50 y la Tabla 52 se muestra la resistencia a flexión de los muretes construidos con ladrillos de perforación horizontal y vertical respectivamente.

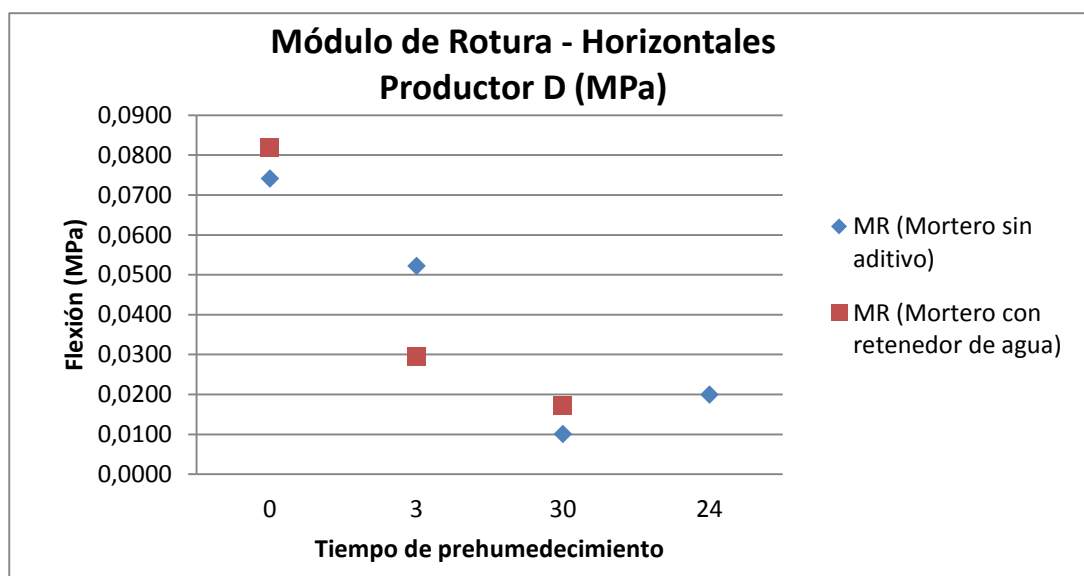
Se observa que la resistencia a flexión de las muestras va disminuyendo conforme aumenta el prehumedecimiento para los muretes construidos con ladrillos de perforación horizontal.

**Tabla 50 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera D**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
143	334	295	290	132	2000	0,08	0,0742	1900,00	0
144	330	297	291	132	2100	0,08			
143	331	296	290	132	1600	0,06			
144	331	296	276	131	2400	0,09	0,0821	2300,00	OR
143	334	295	275	131	2500	0,09			
143	332	295	275	131	2000	0,07			
144	331	295	290	131	1300	0,05	0,0522	1333,33	3
143	336	296	291	131	1200	0,05			
144	333	295	290	131	1500	0,06			
142	336	295	287	130	800	0,03	0,0295	750,00	3R
143	334	296	287	130	700	0,03			

**Tabla 51 Resistencia a flexión de muretes horizontales ladrillera D**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
142	330	296	291	131	200	0,01	0,0101	250,00	30
141	332	295	290	131	300	0,01			
142	330	295	290	130	400	0,02	0,0173	433,33	30R
143	331	296	291	130	600	0,02			
143	332	296	291	130	300	0,01			
144	331	295	290	131	600	0,02	0,0200	600,00	24



**Figura 81 Flexión muretes horizontales ladrillera D**

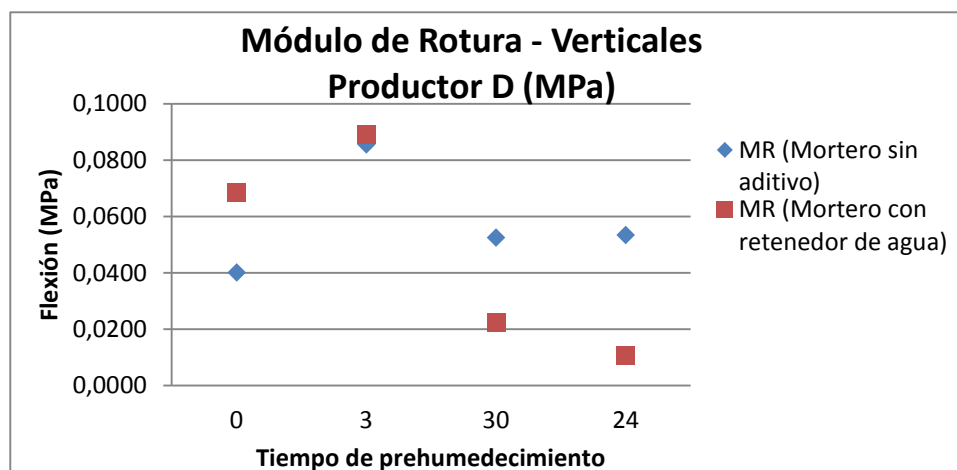
Sin embargo, en el caso de los muretes fabricados con ladrillos de perforación vertical se logra una mejor resistencia para muretes con ladrillos de prehumedecimiento de 3 minutos y se observa además que las resistencias a flexión de los prehumedecimientos de 30 minutos y 24 horas no presentan una resistencia favorable para los constructores, tanto en términos de resistencia como de tiempo.

**Tabla 52 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera D**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
144	334	296	287	130	1100	0,04	0,0401	1033,33	0
143	333	295	287	130	1000	0,04			
143	335	296	288	130	1000	0,04			

**Tabla 53 Resistencia a flexión de muretes verticales ladrillera D**

Ancho	Alto	Largo	Luz Inf.	Luz Sup.	Carga	MR	prom MR	prom Carga	Prehumedecimiento
(mm)					(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
144	335	295	285	132	1800	0,07	0,0685	1800,00	0R
143	336	296	287	132	1700	0,07			
144	335	295	288	132	1900	0,07			
143	334	295	291	131	2100	0,08	0,0856	2166,67	3
143	335	294	290	131	2300	0,09			
144	333	295	290	131	2100	0,08			
143	336	293	296	131	2200	0,09	0,0889	2166,67	3R
144	335	292	295	131	2100	0,09			
143	336	294	296	131	2200	0,09			
142	331	294	293	131	1200	0,05	0,0524	1300,00	30
143	331	295	291	131	1400	0,06			
142	330	295	291	131	1300	0,05			
143	135	292	290	130	500	0,02	0,0222	550,00	30R
142	134	291	290	131	600	0,02			
143	332	294	291	131	800	0,03	0,0533	1333,33	24
142	331	294	290	131	1600	0,06			
143	334	293	290	131	1600	0,06			
143	332	294	291	131	400	0,02	0,0106	266,67	24R
144	334	295	290	131	300	0,01			
142	336	294	290	131	100	0,00			



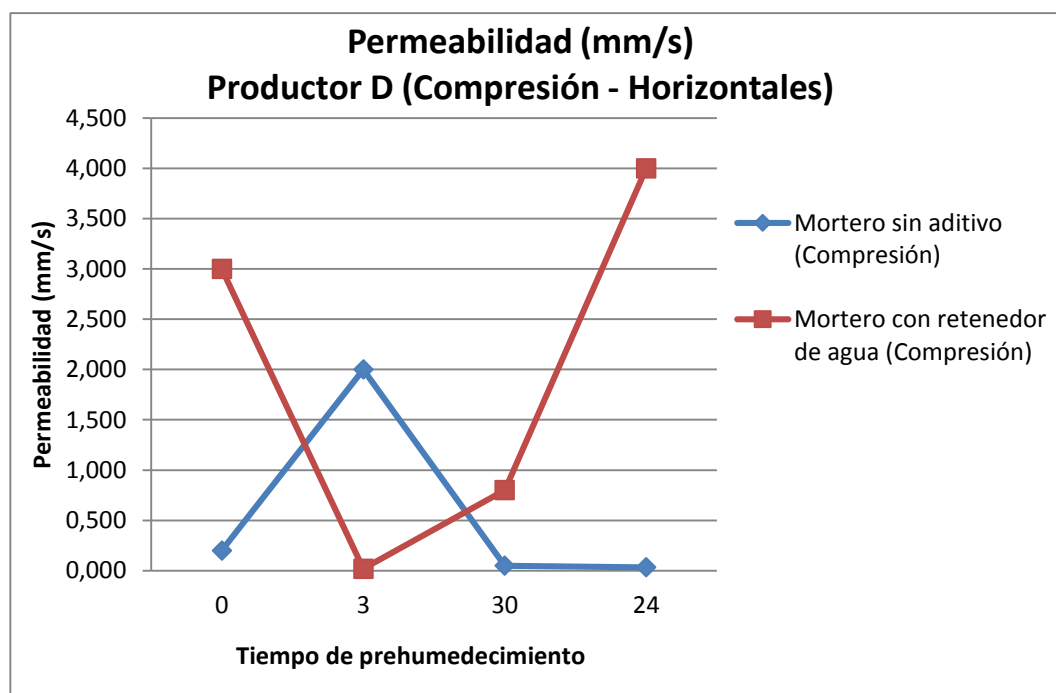
**Figura 82 Flexión muretes verticales ladrillera D**

### 3.5.6 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera D

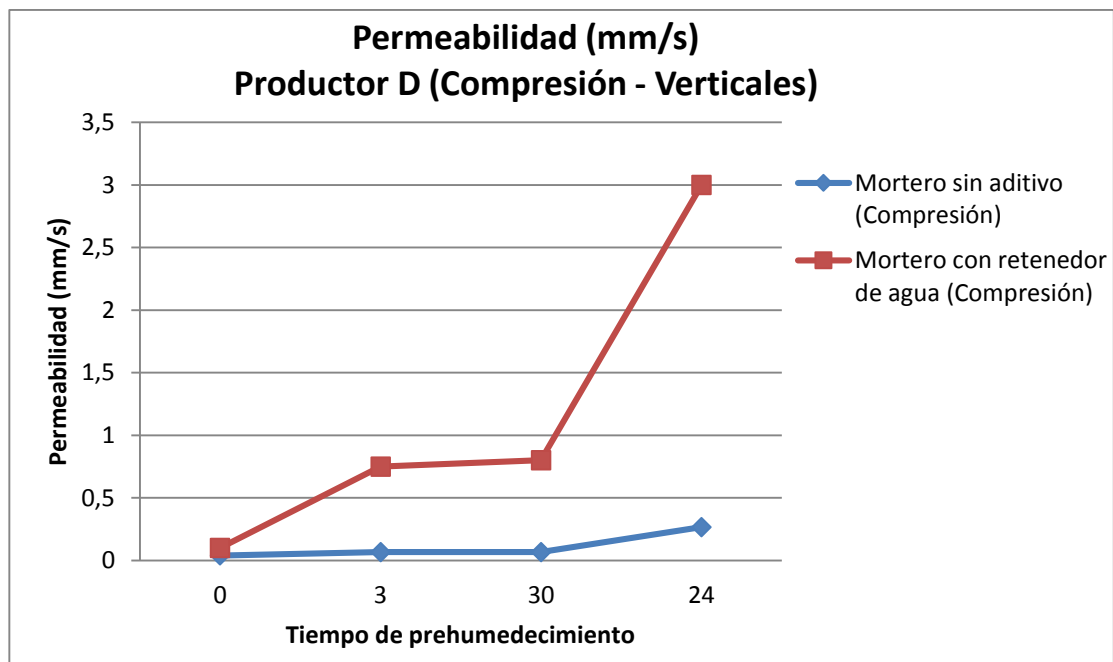
Los valores de las tablas de permeabilidad corresponden a la velocidad con la que se absorbieron 12 ml de agua, expresados en ml/s

**Tabla 54 Permeabilidad de los muretes de la ladrillera D**

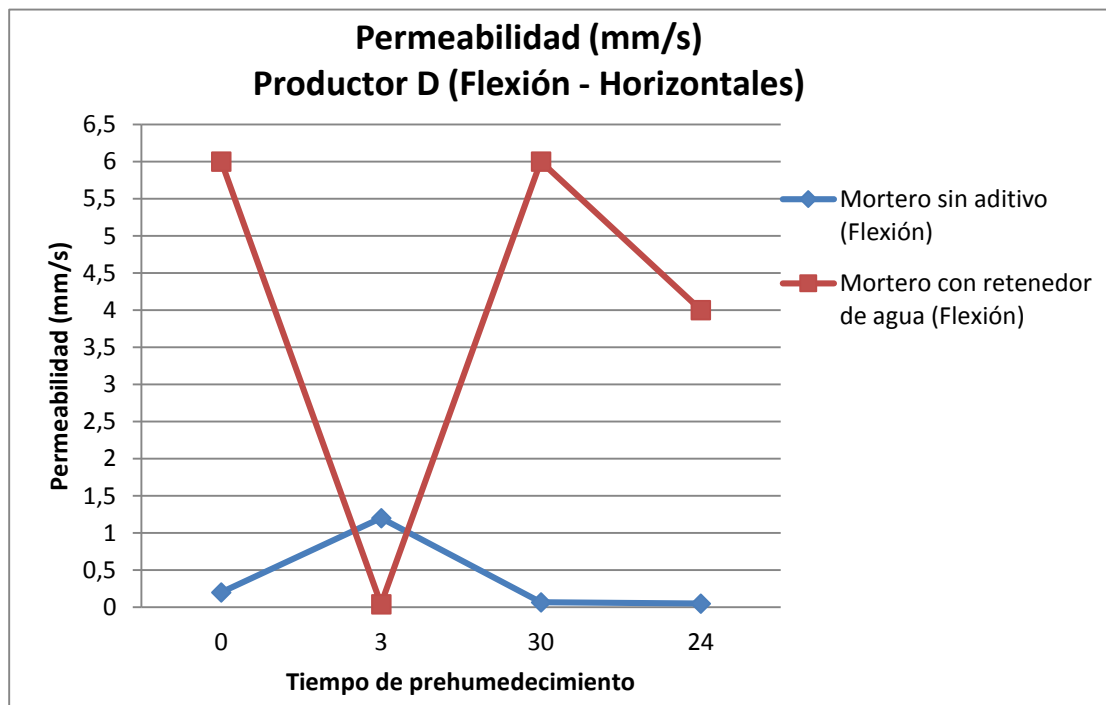
Prehumedecimiento	PH		PV	
	Compresión.	Flexión	Compresión.	Flexión
0	0,200	0,200	0,040	4,000
0R	3,000	6,000	0,100	4,000
3	2,000	1,200	0,067	0,200
3R	0,020	0,040	0,750	0,600
30	0,049	0,067	0,067	0,014
30R	0,800	6,000	0,800	0,480
24	0,033	0,050	0,267	0,100
24R	4,000	4,000	3,000	2,400



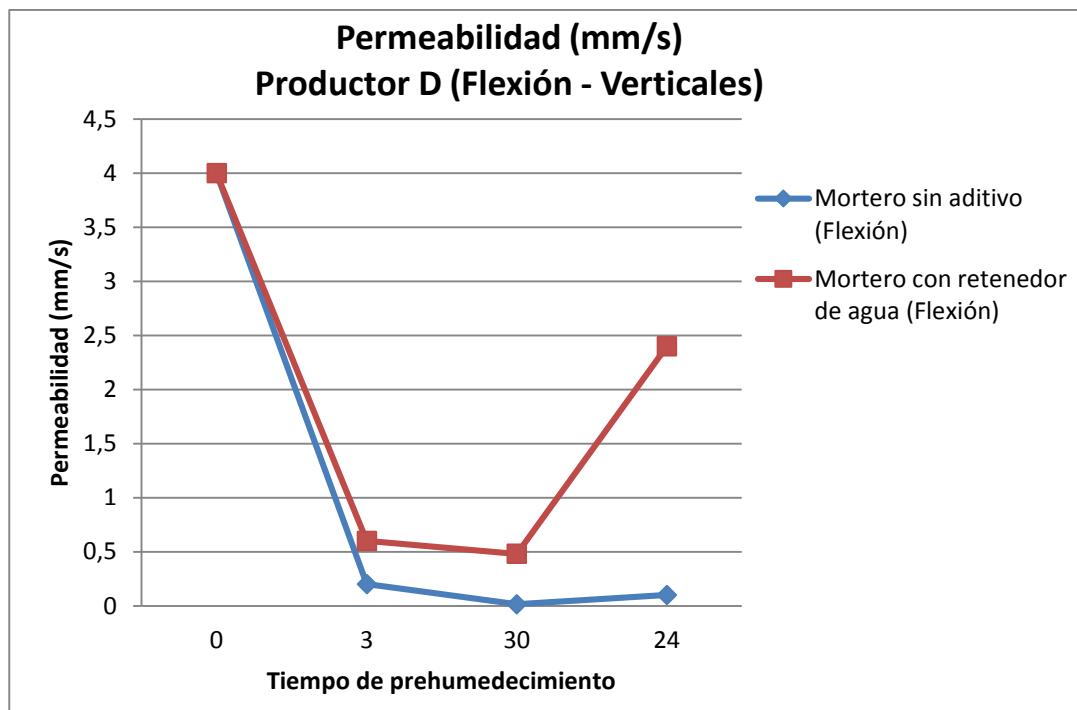
**Figura 83 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de compresión ladrillera D**



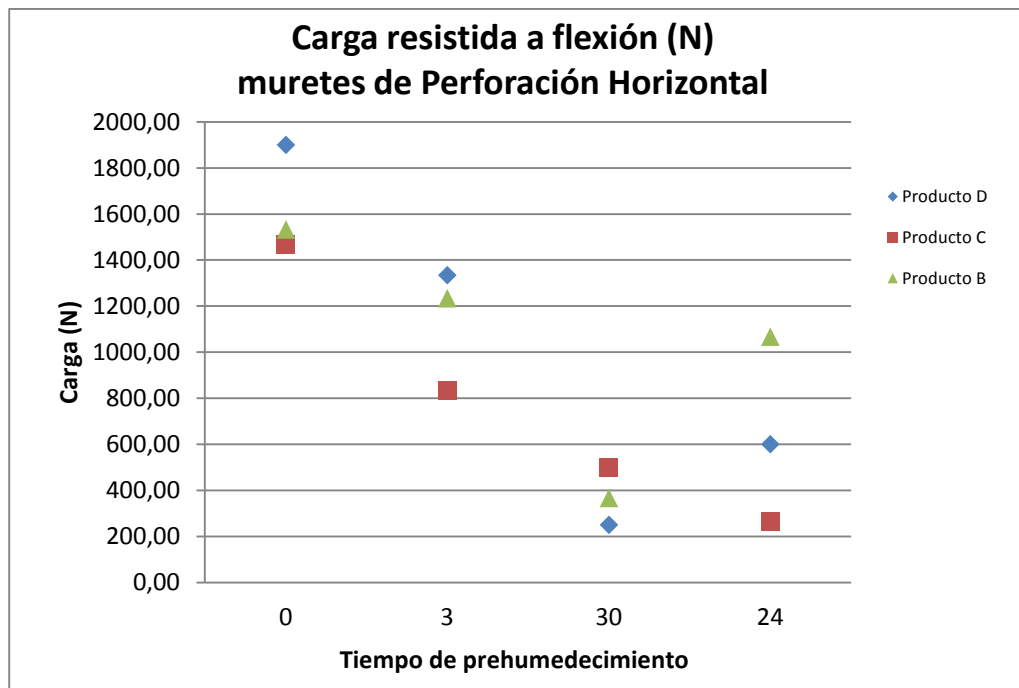
**Figura 84 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de compresión ladrillera D**



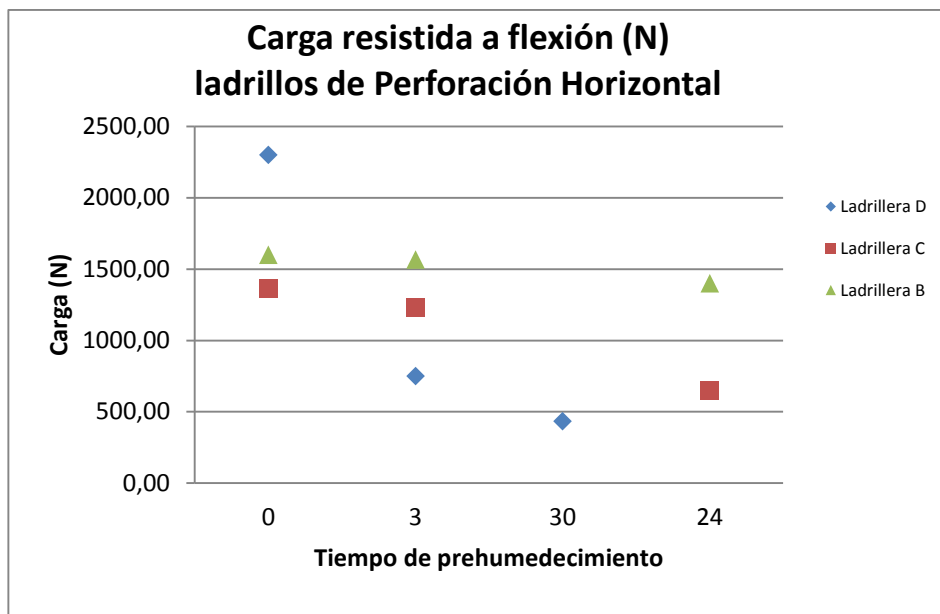
**Figura 85 Permeabilidad de los ladrillos horizontales muretes de flexión ladrillera D**



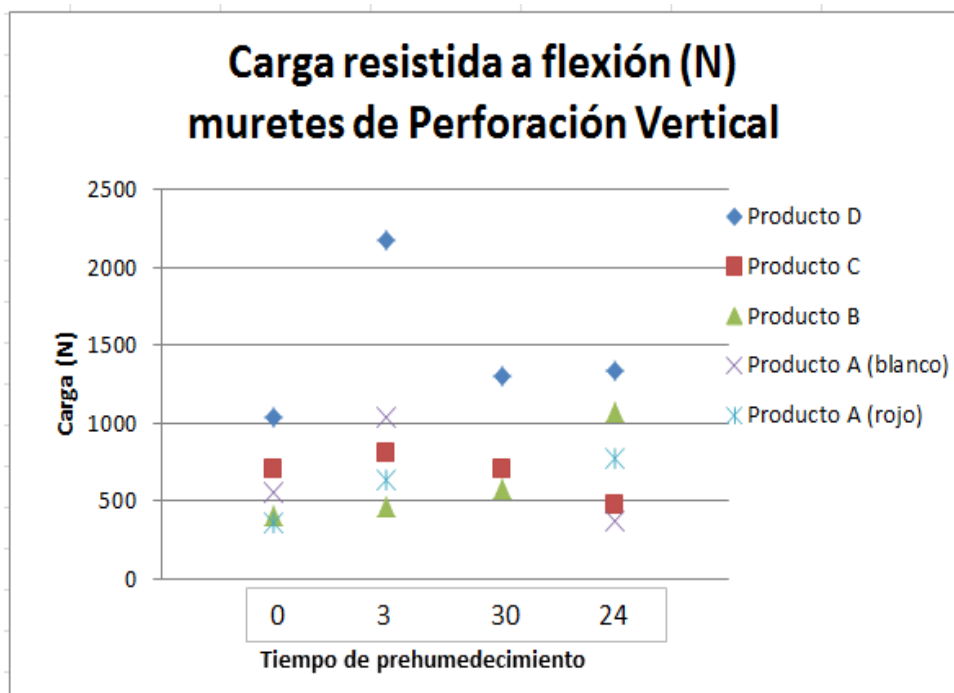
**Figura 86 Permeabilidad de los ladrillos verticales muretes de flexión ladrillera D**



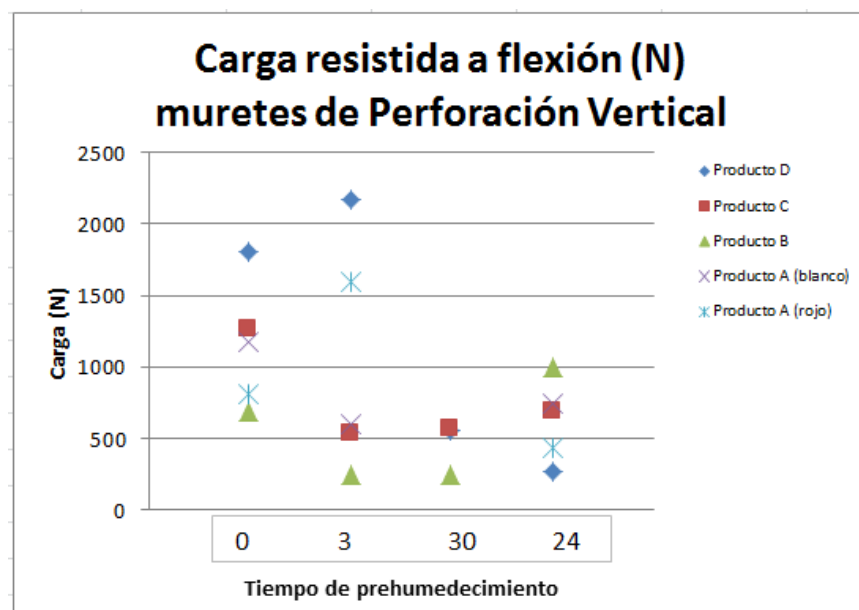
**Figura 87 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PH – Mortero sin aditivo**



**Figura 88 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PH – Mortero con retenedor de agua**



**Figura 89 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PV – Mortero sin aditivo**



**Figura 90 Carga resistida por los muretes en el ensayo de flexión para ladrillos PV – Mortero con retenedor de agua**

La carga de rotura cae drásticamente conforme va aumentando el prehumedecimiento del ladrillo.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Sobre la confiabilidad de los resultados:

Hay muchas variables involucradas en el estudio; muchas cuantificables con márgenes de seguridad confiables, visibles en las mayores o menores desviaciones de los resultados, como las resistencias y absorciones de las unidades individuales de ladrillo; otros aspectos de gran importancia y de obvia incidencia en los resultados finales, como la calidad de mano de obra y su constancia en tan grande número de muretes, la manipulación de los muretes y principalmente su transporte desde la ladrillera hasta el laboratorio influyen en los resultados generales sin que sea posible cuantificar su proporción en cada uno. NO obstante es posible inferir su incidencia, estableciendo tendencias, en las que se rompen o por el contrario se marcan de manera nítida los comportamientos de las variables; basta mirar por ejemplo las figuras 69 y 70 para confirmar la claridad de la tendencia y comparar estas con la figura 65 y 66 u otras para ver que aunque se infiere una tendencia los resultados individuales presentan obvias desviaciones. Con esta consideración en mente se deben leer los resultados tabulados y graficados atrás en este estudio, de manera que se puedan extraer conclusiones coherentes sobre las tendencias en el desempeño de las variables.

Teniendo en cuenta lo anterior se hace visible a lo largo del recorrido de las gráficas anteriores que las resistencias a compresión tienen sus máximos generales en los muretes con prehumedecimientos de 3 minutos; que los retenedores de agua son particularmente útiles en las condiciones de pega en seco (sin prehumedecimientos) y que la impermeabilidad se potencia con los mayores tiempos de prehumedecimiento.

También se colige del análisis que los retenedores de agua, en aquellos ensayos de tendencias claras muestran un beneficio en los muretes secos y en los de 3 minutos mientras que en los de 30 minutos y 24 horas se consigue muy buena impermeabilidad con o sin retenedor de agua; es decir, el retenedor de agua es importante para mejorar la impermeabilidad de los muros pegados sin prehumedecimiento o con poco tiempo de inmersión previa.

Se nota que para los ladrillos pegados en seco el retenedor de agua significa una mejora consistente en las resistencias a compresión y a flexión de los muretes hechos con ladrillos pegados secos.

También se nota que las resistencias a compresión de los muretes de 30 minutos y 24 horas de prehumedecimiento caen sensiblemente cuando se utiliza retenedor de agua. Al analizar esta circunstancia, debe tenerse en cuenta que las resistencias finales de los cilindros de mortero no se vieron disminuidas con la adición del retenedor (más bien se elevaron las resistencia tempranas); también debe tenerse en cuenta que la permeabilidad de los muretes con 24 horas de prehumedecimiento y retenedor de agua fue muy baja, lo que evidencia un mortero sano, libre de canales y conductos (fisuración y tubificación). Por lo tanto la caída de resistencia analizada no concuerda con los cilindros de mortero ni con las mediciones de permeabilidad, por lo que se considera que su causa puede asociarse a cambios reológicos dentro de una masa de mortero prolongadamente húmeda por causa

del aporte de agua desde el ladrillo hacía una masa con capacidad de retención, y que de allí se deriven inclusive cambios químicos en las reacciones de fraguado. Esta circunstancia tiene mucho fondo, puesto que puede establecer un límite en la conveniencia del curado, en el sentido de que el exceso de agua reduce el aire en los poros, como ya se explicó, podría producir a cambios químicos y reológicos en el fraguado del cemento que ameritan investigaciones posteriores.

Se encontraron tasas iniciales de absorción moderadas en comparación con los estándares antecedentes y se confirmó que tiempos de prehumedecimiento de 3 minutos permiten reducir las TIAs a valores muy moderados, con los que se cumplen las recomendaciones de todos los antecedentes normativos.

Las unidades individuales recogidas, a pesar de representar una gran variedad en cuanto a su tipo (Horizontales y Verticales), materias primas, sistemas de preparación y de extrusión, hornos y temperaturas de cocción, ofrecen unas características generales, en primer lugar de calidades desde aceptables hasta muy buenas, y en segundo lugar comportamientos similares en relación con los análisis efectuados.

**Tabla 55 Comparación de resistencias**

	h	fcu	Kp	fcp	Rm	0,8fcu	f'm Calc.	f'm Reales	f'm real/f'm calculado	f'm/fcu	f'm/fcp	Flexión	Flexión/ compres
Dh	100	5,64	0,8	8,4	3,904	4,51	<b>2,93</b>	<b>2,97</b>	101%	53%	35%	0,0522	1,8%
Dv	100	32,08	0,8	8,4	18,005	25,66	<b>13,50</b>	<b>8,93</b>	66%	28%	106%	0,0856	1,0%
Ch	100	2,94	0,8	8,4	2,464	2,35	<b>1,76</b>	<b>1,3</b>	74%	44%	15%	0,0516	4,0%
Cv	100	18,96	0,8	8,4	11,008	15,17	<b>8,26</b>	<b>7,1</b>	86%	37%	85%	0,0338	0,5%
Bh	100	6,16	0,8	8,4	4,181	4,93	<b>3,14</b>	<b>2,07</b>	66%	34%	25%	0,0488	2,4%
Bv	100	30,24	0,8	8,4	17,024	24,19	<b>12,77</b>	<b>6,6</b>	52%	22%	79%	0,0186	0,3%
Avr	100	36,44	0,8	8,4	20,331	29,15	<b>15,25</b>	<b>8</b>	52%	22%	95%	0,036	0,5%
Avb	100	34,4	0,8	8,4	19,243	27,52	<b>14,43</b>	<b>7,13</b>	49%	21%	85%	0,0416	0,6%

Las mayores resistencias de los muretes, tanto horizontales como verticales se obtuvieron para la situación de 3 minutos de prehumedecimiento. Sin embargo al comparar los resultados reales del laboratorio con los teóricos que se pueden calcular con la ecuación D.3.7-1 de la NSR-10, se encuentra que en general son apenas del orden del 60% de los teóricos, como se puede ver en la Tabla 55. La explicación de este hecho, puede radicar muy posiblemente en que se trate de una norma exótica, importada, que no se halla debidamente validada para los materiales locales; o puede ser que la manipulación de los muretes haya incidido en que los resultados sean más bajos. Se descartan otras razones como el espesor de la junta de pega, que se trabajó de 12 mm que está dentro del rango de 6 a 14 mm usual de los códigos estructurales. De este punto se puede desprender otra investigación dirigida a establecer correlaciones válidas y aplicables al medio que además incorporen otras características de los ladrillos con el fin de darle un mayor refinamiento y validez al cálculo. Se debe tener en cuenta que, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la correlación actual resulta peor si se cambian los tiempos de prehumedecimientos y los aditivos del mortero.

Las resistencias a la flexión, expresadas como módulo de rotura, resultan extraordinariamente bajas en comparación con las resistencias a compresión. Mientras que en las piezas individuales de adoquines o en materiales como el concreto los módulos de rotura suelen estar entre el 10% y el 15% de la resistencia a la compresión, en este caso la mayoría de los valores está por debajo del 1%. Se suma a esta observación el hecho de que los valores de resistencia a compresión de los muretes estuvieron muy bajos, principalmente en los ladrillos de perforación vertical, que son unidades estructurales de muy alta resistencia; nótese que los muretes tuvieron una resistencia del orden de la tercera parte de la resistencia de las piezas, pero de dos terceras partes de resistencia del mortero, lo que quiere decir que los morteros de baja resistencia, como los que comúnmente se utilizan en las fachadas de Medellín conducen a muros de muy bajas resistencias y muy altas permeabilidades. Se amerita también ampliar esta investigación, para una condición de prehumedecimiento determinada, variando la calidad del mortero de pega. Se debe considerar la posibilidad de que un mortero poroso y de baja resistencia tenga un coeficiente de Poisson muy alto, lo que es aceptado como un factor determinante en la reducción de las resistencias a compresión de los muretes, porque inducen fuerzas horizontales perpendiculares a las cargas de compresión que determinan el mecanismo de falla y reducen la resistencia (ver Tabla 55).

## 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

- Se dispone de ladrillos de buenas calidades que responden de muchas maneras a los parámetros normativos. No obstante no basta el solo ladrillo para tener una mampostería de buena calidad, es indispensable tener buenos morteros y un control del proceso, particularmente de la deshidratación del mortero en el momento de la pega.
- Es suficiente prehumedecer los ladrillos entre 30 segundos y 3 minutos para que en todos los casos se reduzca la TIA a valores inferiores a 0,1 g/min/cm<sup>2</sup>, que se acepta como valor adecuado para la instalación de los ladrillos.
- Si no se acude a la práctica de los prehumedecimientos de los ladrillos, se hace necesario adicionar retenedores de agua para mejorar todos los parámetros analizados: resistencia a compresión, resistencia a flexión y resistencia a la penetración de agua a través de las juntas de pega.
- Un corto prehumedecimiento (3 minutos) es óptimo para mejorar las propiedades mencionadas sin necesidad de acudir a aditivos retenedores de agua.
- Tiempos muy largos de prehumedecimiento contribuyen a mejorar de manera absoluta la resistencia a la penetración del agua a través de las juntas de pega; sin embargo hay detrimento de las resistencias a flexión y a compresión cuando se aplican tiempos prolongados de prehumedecimiento y peor aun cuando se suman estos prehumedecimientos y retenedores de agua.
- Aunque la impermeabilidad es una ventaja ostensible y muy valiosa que se consigue con los prehumedecimientos prolongados, su costo en términos de proceso constructivo, así como la pérdida de las otras propiedades hace que no se justifique frente a las opciones de pega en seco con retenedor o de 3 minutos de prehumedecimiento, máxime si la impermeabilidad se puede coadyuvar con recubrimientos incoloros hidrorrepelentes y mediante la conformación exterior de la junta de pega.
- Con base en los resultados de este estudio se recomienda que los ladrillos de arcilla cocida se peguen utilizando un retenedor de agua cuando no hay prehumedecimiento en el momento de la pega o con 3 minutos de inmersión, cuando no se usa retenedor de agua. Los resultados óptimos, que combinarlos mejores resultados a compresión flexión y penetración de agua corresponden a 3 minutos de prehumedecimiento y retenedor de agua.
- Se encontró en esta investigación que hace falta adelantar más estudios que involucren otras variables determinantes de la calidad de la mampostería, como la resistencia de los morteros, los espesores de la junta de pega, la influencia del contenido de humedad en los morteros y el curado.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Aristizábal Gil, V. M.

Aristizábal Gil, V. M. (2004). Manejo y Protección del ladrillo a la vista. *Manual de fachadas*, 12-17.

Aristizábal Gil, V. M. (28 de Mayo de 2013). La importancia del ladrillo en la actualidad. (D. F. Acevedo Saldarriaga, Entrevistador)

Aristizábal Gil, V. M. (13 de Noviembre de 2013). Propiedades de los morteros. (D. F. Acevedo Saldarriaga, Entrevistador)

CAMACOL. (2011). Seminario: Aprendamos de los errores en la construcción para profesionales. *Aprendamos de los errores en la construcción para profesionales*. Medellín: CAMACOL.

HELLENIC CEMENT INDUSTRY ASSOCIATION. (27 de Enero de 2011). <http://www.hcia.gr/9.html>. Recuperado el 28 de Octubre de 2012, de <http://es.scribd.com/doc/47692937/Mortero>

Herrera, A. M., & Madrid, G. G. (s.f). *Manual de Construcción de Mampostería de Concreto*. Instituto Colombiano de Productores de Cemento.

HISPALYT. (25 de Febrero de 2008). <http://www.hispalyt.es>. Recuperado el 28 de Octubre de 2012, de [http://www.construmatica.com/construpedia/Morteros\\_para\\_Ladrillos#Morteros\\_para\\_ladrillos\\_de\\_baja\\_succi.C3.B3n](http://www.construmatica.com/construpedia/Morteros_para_Ladrillos#Morteros_para_ladrillos_de_baja_succi.C3.B3n)

HISPALYT-INCE. (1985). *IMPERMEABILIDAD FRENTE AL AGUA LLUVIA DE LOS CERRAMIENTOS DE LADRILLO CARA VISTA*. Madrid: HISPALYT.

ICONTEC. (2005). *MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA (NTC 4017)*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Jiménez, C. F. (2009). *El mortero para pegamento y el mortero de repello*. San Miguel: CESSA.

Mamlouk, & Zaniewski. (2009). *Materiales para Ingeniería Civil*. ISBN 9788483225104. Editorial Pearson.

Marella, M. (s.f.). *FISURAS EN LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLOS POR MOVIMIENTOS REOLÓGICOS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN*.

NTC 3546. (s.f.). *Métodos de ensayo para determinar la evaluación en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada*. En *NTC 3546*. Bogotá.

NTC 4017. (s.f.). NTC 4017. En *NTC 4017*. Bogotá.

Páez Moreno, D. F., Parra Rojas, S. X., & Montaña Gutiérrez, C. A. (2009). *Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería*. Medellín.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE. (s.f.). En C. a. sismoresistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Título D (NSR-10).

Ruiz, J. L. (2011). *DISEÑO DE MORTERO PARA REDUCIR LA FISURACIÓN POR RETRACCIÓN EN LOS SISTEMAS DE PISO ACABADO*. Medellín: Publicaciones Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Arquitectura.

Sika. (2010). *Fabricación de Morteros "In Situ" - Pliego de condiciones N° 83*. Medellín: Innovation & Consistency.

UNIVERSIDAD DE OVIEDO. (2005). *Hidratación del cemento portland*. Recuperado el 12 de agosto de 2013, de <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidratacionCEMENTO.pdf>

Videla, C. (2010). Manual Dosificaciones de Hormigones. *Tecnología del Hormigón Capítulo 6. Dosificaciones de Hormigón* (pág. 112). Santiago de Chile: Departamento Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile.



## ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA

### ACTA DE EVALUACIÓN FINAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>Fecha: (dd/mm/aa)</b>	21/11/2013						
<b>Nombre del proyecto:</b>	Deshidratación de morteros de cemento portland en mampostería de ladrillos de arcilla y su relación con propiedades de los muros						
<b>Director del proyecto:</b>	Víctor Manuel Aristizábal						
<table border="1"> <tr> <th><b>Nombre del estudiante</b></th> <th><b>Programa académico</b></th> </tr> <tr> <td>Daniel Fdo Acevedo S.</td> <td>Ingeniería Civil</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	<b>Nombre del estudiante</b>	<b>Programa académico</b>	Daniel Fdo Acevedo S.	Ingeniería Civil			
<b>Nombre del estudiante</b>	<b>Programa académico</b>						
Daniel Fdo Acevedo S.	Ingeniería Civil						
<b>Nombre del Jurado:</b>							
<b>Evaluación del proyecto:</b>							
<input type="checkbox"/> No aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado							
Espacio exclusivo para jurado							
<input type="checkbox"/> Mención Pública <input type="checkbox"/> Mención honorífica <input type="checkbox"/> Trabajo laureado							
<b>Justificación del reconocimiento:</b> (Artículo 28 del Acuerdo 11: "El director del Programa presentará el acta final de evaluación al Consejo Académico, donde consta la solicitud de mención especial debidamente justificada y el Consejo determinará si se otorga o no")							

*[Firma]*

Director del Programa

*[Firma]*

Director del Trabajo de Grado



\_\_\_\_\_  
Jurado

Evaluación informe final Trabajo de grado por el Jurado

1 de 6

